Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement des Innern EDI
Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz

MeteoSchweiz

Fachbericht MeteoSchweiz Nr. 272

Hitze und Trockenheit im Sommerhalbjahr 2018 – eine klimatologische Übersicht

MeteoSchweiz

ISSN: 2296-0058

Fachbericht MeteoSchweiz Nr. 272

Hitze und Trockenheit im Sommerhalbjahr 2018 – eine klimatologische Übersicht

MeteoSchweiz

Redaktion
Stefanie Gubler und Simon Scherrer

Autoren
Stephan Bader, Annkatrin Burgstall, Ana Casanueva, Anke Duguay-Tetzlaff, Regula Gehrig, Stefanie Gubler, Sven Kotlarski, Simon Scherrer, Christoph Spirig

Empfohlene Zitierung:

MeteoSchweiz: 2018, Hitze und Trockenheit im Sommerhalbjahr 2018 - eine klimatologische Übersicht *Fachbericht MeteoSchweiz,* **272,** 38 pp.

Herausgeber:

Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie, MeteoSchweiz, © 2018

MeteoSchweiz
Operation Center 1
CH-8044 Zürich-Flughafen
T +41 58 460 99 99
www.meteoschweiz.ch

Zusammenfassung

Als Folge von aussergewöhnlichem Hochdruckeinfluss war das Sommerhalbjahr 2018 in grossen Teilen Zentral- und Nordeuropas ungewöhnlich heiss, sonnig und vielerorts auch äusserst trocken. Auch in der Schweiz stach das Sommerhalbjahr durch anhaltende Wärme und grosse Trockenheit hervor.

Die über die Monate April bis September 2018 landesweit gemittelte Temperatur war die höchste seit Messbeginn 1864. Mit 12.8 °C im Mittel übertraf der Hitzesommer 2018 sogar den Rekordsommer 2003 um wenige Zehntelgrad. Ausserdem wurde Ende Juli / Anfang August die Alpennordseite von einer 10-tägigen, die Alpensüdseite von einer 18-tägigen Hitzewelle erfasst, für welche Meteo-Schweiz mehrere Hitzewarnungen herausgab. So wurden auch in grösseren Schweizer Städten viele Tropennächte registriert. In der Stadt Zürich zum Beispiel gab es im Sommer 2018 zwischen 15 bis 18 Tropennächte. In der ländlichen Umgebung in Zürich Affoltern hingegen traten keine Tropennächte auf. Dieser Unterschied ist der städtischen Wärmeinsel zuzuschreiben, welche im Sommer 2018 in der Nacht bis zu 4 bis 6 °C höheren Temperaturen in der Stadt als im ländlicheren Zürich Affoltern führte. Am Tag hingegen wiesen die Temperaturen zwischen Stadt und Land nur geringe Unterschiede auf.

Die Monate April bis September 2018 waren extrem niederschlagsarm. So zum Beispiel in der Region zwischen Zürichsee / Walensee und dem Bodensee, wo die drittstärkste Niederschlagsarmut seit Messbeginn 1864 mit nur rund 60 Prozent der normalen Niederschlagsmenge beobachtet wurde. Trockenheitsindizes wie zum Beispiel die Wasserbilanz berücksichtigen neben Niederschlag auch den Einfluss der Verdunstung, und sind somit relevanter für die Vegetationsentwicklung als die Niederschlagsarmut allein. Das Sommerhalbjahr 2018 war eines der trockensten seit Messbeginn 1864 und war in gewissen Regionen trockener als 2003 und 2015. Aufgrund der grossen Trockenheit trat die Blattverfärbung verschiedener Baumarten im Sommer 2018 ungewöhnlich früh auf, teilweise schon im Juli. Auch sonst war die Entwicklung der Vegetation im Sommer 2018 sehr früh. So wurden sowohl die Blüte als auch die Fruchtreife bei den untersuchten Pflanzen zwischen 13 bis 20 Tagen früher beobachtet als im Mittel während der Normperiode 1981 bis 2010.

In Zukunft ist in der Schweiz mit häufigeren und intensiveren sommerlichen Hitze- und Trockenheitsperioden zu rechnen. So werden Hitzewellen, wie sie im Sommer 2018 auftraten, im heutigen Klima alle 5 bis 10 Jahre erwartet. Ende des 21 Jahrhunderts werden solche Hitzewellen häufiger auftreten, in Genf und Lugano zum Beispiel werden sie gegen Ende des Jahrhunderts unter der Annahme eines mittleren Treibhausgas-Emissionsszenarios jährlich erwartet. Sehr lange 18 tägige Hitzewellen werden in Genf und Lugano alle zwei bis drei Jahre erwartet, in Zürich und Bern alle 10 Jahre. Damit verbunden wird auch die sommerliche Hitzebelastung der Bevölkerung deutlich steigen.

Abstract

As a result of exceptional high pressure, the 2018 summer half-year was unusually hot and sunny in large parts of Central and Northern Europe, and in many places also extremely dry. In Switzerland, the summer half-year was also marked by persistent warmth and severe drought.

The nationwide average temperature over the months of April to September 2018 was the highest since measurements started in 1864. With an average temperature of 12.8 °C, the heat of 2018 even exceeded the record summer of 2003 by a few tenths of a degree. In addition, at the end of July / beginning of August, the northern side of the Alps was hit by a 10-day heat wave and the southern side of the Alps by an 18-day heat wave. MeteoSwiss issued several heat warnings. Also, many tropical nights were recorded in larger Swiss cities. In the city of Zurich, for example, there were between 15 and 18 tropical nights in the summer of 2018. In rural areas such as Zurich Affoltern, however, no tropical nights occurred. This can be attributed to the urban heat island that led to temperatures being 4 to 6 °C higher at night in the city of Zurich than in the surrounding countryside in Zurich Affoltern. During the day, the temperatures between the city and the countryside differed only slightly.

The months of April to September 2018 were extremely dry. For example in Eastern Switzerland in the region between Lake Zurich / Lake Walen and Lake Constance, the third lowest level of precipitation since the start of measurements in 1864 occurred and resulted in around 60 percent of normal precipitation. Drought indices such as the water balance take into account not only precipitation but also the influence of evaporation, and are therefore more relevant for vegetation development than precipitation deficits alone. The 2018 summer half-year was one of the driest since measurements began in 1864 and was, in certain regions, even drier than 2003 and 2015. Due to the severe drought, leaf discoloration of various tree species occurred unusually early in the summer of 2018, in some cases already in July. The development of vegetation in summer 2018 was also very early in other respects. Both flowering and fruit maturity were observed between 13 and 20 days earlier than on average during the standard period 1981 to 2010.

In the future, more frequent and more intense summer heat and dry spells can be expected in Switzerland. In today’s climate, heat waves such as those occurring in the summer 2018 are expected every 5 to 10 years. In the future, however, such heat waves will occur more frequently. In Geneva and Lugano, for example, they are expected to occur on a yearly basis towards the end of the century under the assumption of a medium emission scenario. Very long heat waves of over 18 days are expected every two to three years in Geneva and Lugano, and every 10 years in Zurich and Bern. Therefore, the summer heat stress on the population will also increase significantly.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung		**V**
Abstract		**VI**
1	**Einleitung**	**1**
2	**Synoptische Situation in Europa**	**3**
2.1	Grossräumiger Einfluss der Strömung	3
2.2	Wetterablauf im Sommerhalbjahr	4
2.3	Hitzewellen	7
2.4	Trockenheit	8
3	**Hitze in der Schweiz**	**9**
3.1	Anhaltende Wärme im Sommerhalbjahr	9
3.2	Klimatologische Einordnung der Monatstemperaturen	10
3.3	Die Hitzewellen im Juli und im August	11
3.3.1	10-tägige Hitzewelle auf der Alpennordseite	11
3.3.2	18-tägige Hitzewelle auf der Alpensüdseite	12
4	**Städtische Wärmeinsel Zürich**	**13**
4.1	Hitzewelle im Stadtzentrum und am Stadtrand	13
4.2	Tropennächte und Hitzetage im Vergleich zu 2003 und 2015	15
4.3	Verlauf der Tropennächte in den Hitzesommern	15
5	**Niederschlagsarmut in der Schweiz**	**17**
5.1	Anhaltende Niederschlagsarmut im Sommerhalbjahr	17
5.2	Klimatologische Einordnung der Monatsniederschläge	19
6	**Trockenheit**	**21**
6.1	Trockenheit: mehr als Niederschlagsarmut	21
6.2	Wasserbilanz als Mass für Trockenheit	21
6.2.1	Verlauf der Wasserbilanz	21
6.2.2	Die Wasserbilanz im Vergleich zu 2003 und 2015	23
6.3	Klimatologische Einordnung der Trockenheit	23
6.4	Räumliche Verteilung der Trockenheit	24
7	**Die Entwicklung der Vegetation**	**27**
7.1	Phänologische Beobachtungen	27
7.2	Rekordfrühe Blüte und Fruchtreife	27

7.3	Entwicklung der Vegetation im Vergleich zu 2003 und 2015	30
8	**Blick in die Zukunft**	**31**
8.1	Der zukünftige Klimawandel in der Schweiz	31
8.2	Hitzewellen im Klimawandel	32
8.3	Hitzestress als Gesundheitsrisiko	34
Danksagung		**36**
Literaturverzeichnis		**37**

1 Einleitung

Das Sommerhalbjahr 2018 war in weiten Teilen Zentral- und Nordeuropas durch langanhaltendes Hochdruckwetter sehr warm und trocken. In der Schweiz rangieren alle Monate von April bis September unter den zehn wärmsten. Zwischen Ende Juli und Anfang August gab es beidseits der Alpen eine ausgeprägte Hitzewelle, die vor allem in den Städten und im Süden zu einer hohen Zahl von Tropennächten führte. Die markante Trockenheit betraf fast die ganze Schweiz.

Der vorliegende Bericht beschreibt den Ablauf und die Einordnung des Sommerhalbjahres in Europa und der Schweiz mit Fokus auf Hitze und Trockenheit. Zusätzlich wird ein Vergleich zu den vorangegangenen Hitzesommern 2003 und 2015 gezogen. Weitere Schwerpunkte sind die Entwicklung der Vegetation, die Analyse der städtischen Hitzeinsel in Zürich und ein Überblick über mögliche Veränderungen von Hitzewellen in Zukunft.

Der Aufbau des Berichts ist wie folgt: **Kapitel 2** bettet das Sommerhalbjahr in den europäischen Kontext ein. **Kapitel 3** beschreibt den Ablauf und die klimatologische Einordung der Hitze. Die Wärmeinsel in der Stadt Zürich wird in **Kapitel 4** thematisiert. **Kapitel 5** beschreibt die klimatologische Einordnung der Niederschlagsarmut im Sommer 2018. **Kapitel 6** widmet sich explizit der Trockenheit inklusive einer Einschätzung ihrer räumlichen Verteilung mithilfe von Satellitendaten. Die Entwicklung der Vegetation ist Thema von **Kapitel 7**. Schliesslich liefert **Kapitel 8** Informationen zu Hitzewellen und Hitzestress in einem zukünftigen Klima.

Herbstlicher Anblick mitten im Sommer. Ein Wald am oberen Zürichsee am 25. Juli 2018. (Foto S. Bader).

2 Synoptische Situation in Europa

Das Sommerhalbjahr 2018 war in weiten Teilen Zentral- und Nordeuropas für sehr lange Zeit stark hochdruckbestimmt. Die Folge war ein ungewöhnlich heisser, sonniger und vielerorts ausserordentlich trockener Sommer 2018.

2.1 Grossräumiger Einfluss der Strömung

Das Wetter und Klima in der Schweiz wird in erster Linie durch die grossskaligen Strömungsverhältnisse der Atmosphäre bestimmt, welche weite Teile Europas beeinflussen. So war auch das heisse und trockene Sommerhalbjahr 2018 ein grossräumigeres Phänomen. Das Wetter in ganz Zentral- und Nordeuropa war während des gesamten Sommerhalbjahres 2018 vorwiegend hochdruckbestimmt und die sonst oft vorherrschende Westwindströmung war stark reduziert (vgl. **Abbildung 1**). Südeuropa hingegen war oft tiefdruckbestimmt und es fiel überdurchschnittlich viel Niederschlag.

Im Folgenden geben wir einen kurzen Überblick über den europäischen Wetterablauf im Sommerhalbjahr (Kap. 2.2), das weiträumige Auftreten von Hitzewellen (Kap. 2.3) und einen kurzen Eindruck von der Trockenheit (Kap. 2.4).

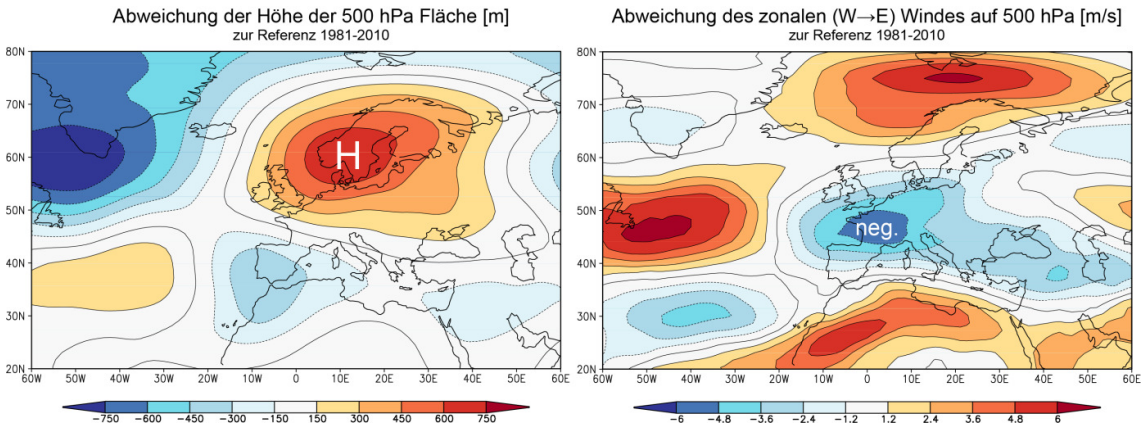

Abbildung 1: Abweichung der Höhe der 500 hPa Fläche vom Mittel der Jahre 1981-2010 (links) und Abweichung der Stärke des zonalen Windes (West -> Ostkomponente) auf 500 hPa vom Mittel der Jahre 1981-2010. Sehr schön sichtbar ist die starke Hochdruckanomalie über Nordeuropa (H im Bild links) und die stark reduzierten zonalen (West-Ost) Winde über West- und Zentraleuropa („neg." im Bild rechts). Grafiken: KNMI Climate Explorer, Datenquelle: ERA-interim Reanalyse.

2.2 Wetterablauf im Sommerhalbjahr

Im *April* war der Hochdruckeinfluss vor allem über Südosteuropa ausgeprägt und führte dort zu sehr warmen, trockenen und sonnigen Verhältnissen (**Abbildung 2**). In weiten Teilen Ost- aber auch Zentraleuropas und in Teilen Italiens wurde der wärmste oder zweitwärmste April seit mindestens 1950 registriert. In grossen Teilen Nordeuropas hingegen lag die Temperatur im April nicht unter den wärmsten sechs Jahren seit 1950 (**Abbildung 3**).

Im *Mai* etablierte sich von den Azoren über die Britischen Inseln bis hin nach Skandinavien Hochdruckwetter (**Abbildung 2**). Dieses führte zu sehr warmen, sehr sonnigen und gebietsweise sehr trockenen Verhältnissen in Zentral-, Nord- und Osteuropa. Nördlich von etwa 48° N wurde grossflächig der wärmste Mai seit mindestens 1950 registriert (**Abbildung 3**). In weiten Teilen Südeuropas hingegen war der Mai eher nass.

Der *Juni* war vor allem über Westeuropa, speziell den Britischen Inseln, weiterhin hochdruckbestimmt. Dies ging wiederum mit sonnigen, warmen und trockenen Verhältnissen von den Britischen Inseln über das nördliche Zentraleuropa und südliche Skandinavien bis ins Baltikum einher (**Abbildung 2**). Es wurde gebietsweise (z.B. in Irland) der wärmste Juni seit mindestens 1950 registriert. Weiterhin waren grosse Teile Südeuropas eher zu nass.

Im *Juli* etablierte sich erneut Hochdruck über Skandinavien und Nordwestrussland und blockierte die sonst oft vorherrschende Westwindströmung. Als Folge war es in Westeuropa und Skandinavien extrem warm und sehr sonnig (**Abbildung 2**). In weiten Teilen wurde der wärmste Juli seit mindestens 1950 registriert (**Abbildung 3**). Allmählich verstärkte sich die Trockenheit in Zentral- und Nordeuropa, da vielerorts nach dem Mai und Juni mit dem Juli bereits der dritte Monat mit einer deutlichen Niederschlagsarmut registriert wurde.

Der *August* war weiterhin von West- über Zentral bis Osteuropa hochdruckbestimmt und brachte wieder viel Wärme, Sonne, wenig Niederschlag (**Abbildung 2**) und somit vor allem in Zentraleuropa wenig Entspannung von der Trockenheit. In vielen Gebieten wurde einer der wärmsten fünf Augustmonate registriert (**Abbildung 3**). In Skandinavien hingegen wurden seit langem wieder einmal grössere Niederschlagsmengen registriert. In weiten Teilen des Mittelmeerraums gab es erneut überdurchschnittlich viel Niederschlag.

Der *September* zeigte sehr ähnliche Muster wie der August. Die Hochdruckanomalie über West- und Zentraleuropa war noch etwas ausgeprägter und somit waren auch die Niederschlagsarmut sowie die positive relative Sonnenscheindaueranomalie in weiten Teilen noch etwas ausgeprägter als im August.

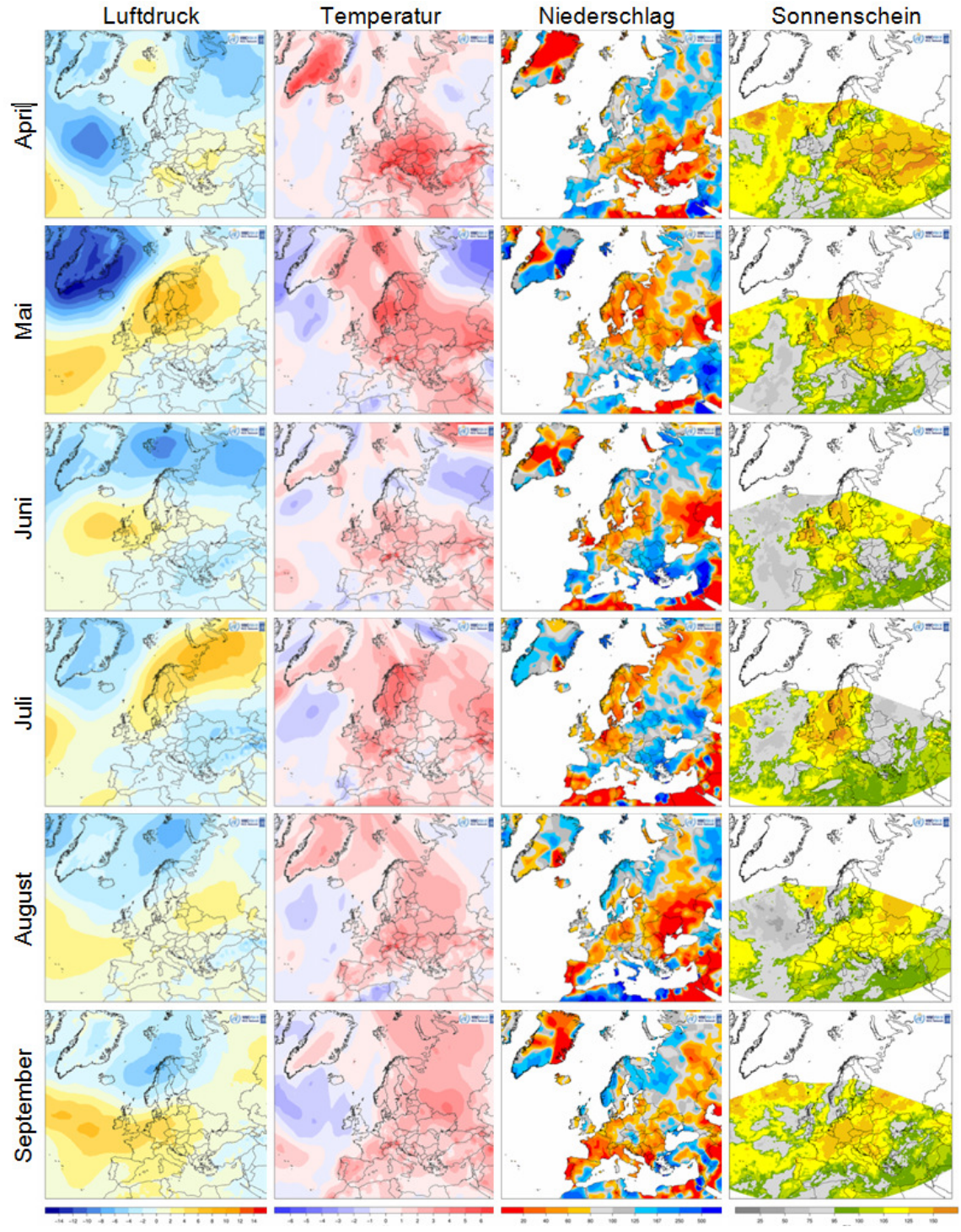

Abbildung 2: Karten der monatlichen Abweichung der Monate April (oben) bis September 2018 (unten) vom Referenzzeitraum 1981-2010 für Luftdruck auf Meereshöhe [hPa] (-14 bis +14 hPa, 1. Spalte), Durchschnittstemperatur auf 2m [°C] (-6 bis +6 °C, 2. Spalte), Niederschlag [%] (20 bis 500 %, 3. Spalte) und Sonnenscheindauer [%] (25 bis 150 %, 4. Spalte) . Grafiken: Regional Climate Centre on Climate Monitoring (https://rcccm.dwd.de).

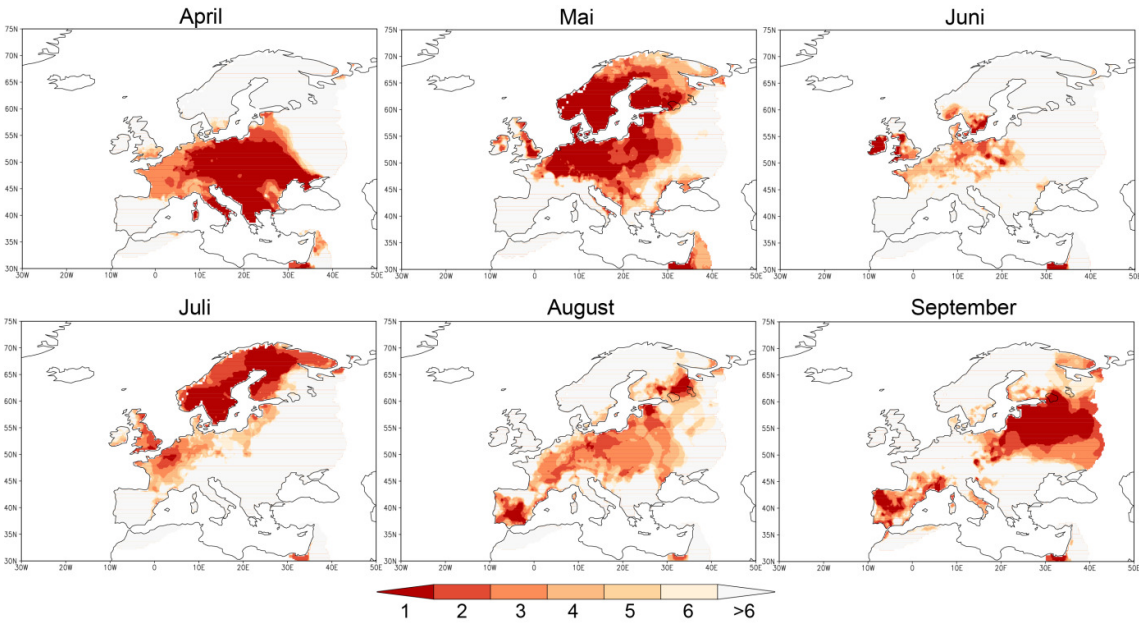

Abbildung 3: Karten der Ränge der monatlichen Durchschnittstemperatur von April bis September 2018 für den Zeitraum seit 1950. Rang 1 ist dunkelrot, Rang 6 hellrot. Regionen mit Rang grösser als 6 sind grau dargestellt. Datenquelle: E-OBS, Grafiken durch MeteoSchweiz erstellt mit dem KNMI Climate Explorer.

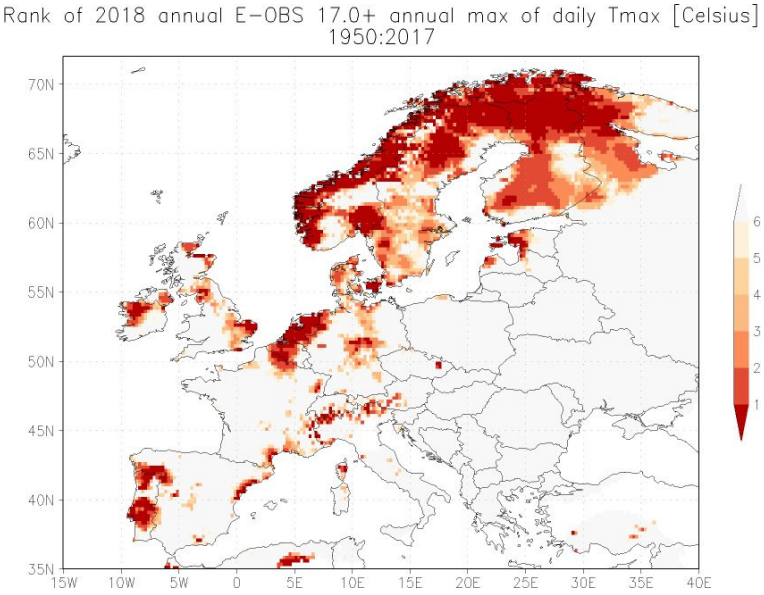

Abbildung 4: Rang des Jahres 2018 betreffend der höchsten gemessenen Maximumtemperatur seit 1950. Rang 1 ist dunkelrot, Rang 6 hellrot. Regionen mit Rang grösser als 6 sind grau dargestellt. Datenquelle: E-OBS, Grafik: Geert Jan van Oldenborgh (KNMI), https://twitter.com/gjvoldenborgh/status/1026211064285995009.

2.3 Hitzewellen

Der Sommer (Juni bis August) 2018 war in vielen europäischen Ländern der wärmste oder zweitwärmste Sommer seit Messbeginn (C3S, 2018; **Abbildung 3** und **Abbildung 4**). Die Wärme ging einher mit drei Phasen ungewöhnlich hoher Temperaturen (im Weiteren als „Hitzewellen" bezeichnet). Die erste Phase spielte sich Ende April ab, eine zweite von Mitte Mai bis Mitte Juni und eine weitere von Juli bis Anfang August. Die letzte Hitzewelle brachte vor allem in Skandinavien, den Niederlanden, Teilen Belgiens und Englands rekordhohe Tagesmaxima seit 1950 (**Abbildung 4**). Sogar in Finnland wurden im Juli Maxima von 33.7 °C und bis zu 27 Sommertage registriert (FMI, 2018).

Die Hitzewelle vom 29. Juli bis 6. August 2018, die auch in der Schweiz zu einer der stärksten Hitzewellen zählt (vgl. Kapitel 3.3), war gemäss den Auswertungen des Regional Climate Centers der WMO Region VI des Deutschen Wetterdienstes (DWD, 2018) eine markante Hitzewelle auch auf europäischer Skala (Nummer 22 in **Abbildung 5**). Allerdings kam sie, betreffend der betroffenen Fläche (Kreisgrösse in **Abbildung 5**) und mit einer Dauer von 9 Tagen (x-Achse in **Abbildung 5**), nicht an die grossen europäischen Hitzewellen von 2003 und 2010 heran. Bezüglich der Temperaturabweichung mit knapp unter 10 °C (y-Achse in **Abbildung 5**) kann sie in etwa mit den Hitzewellen von 2003 und 2010 mithalten.

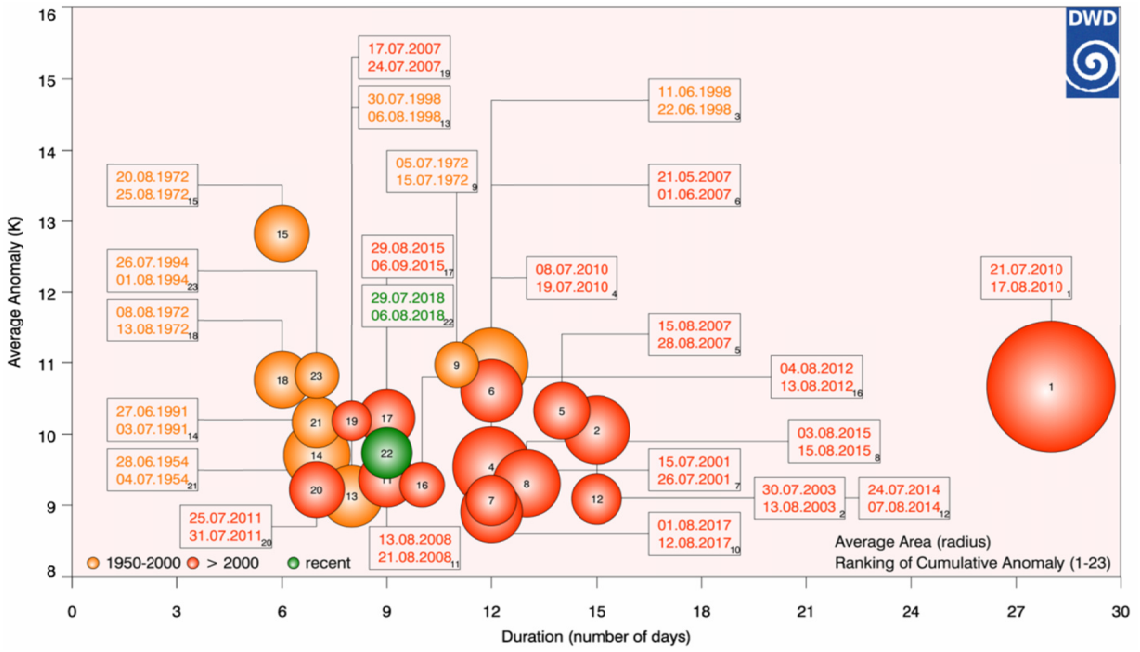

Abbildung 5: Markante Hitzewellen in Europa seit 1950, verglichen nach ihrer Dauer (Tage, x-Achse) und Intensität (Abweichung der Temperaturmaxima von der Norm 1961-1990, °C, y-Achse) sowie der davon betroffenen Fläche (Kreisgrösse). Zusätzlich ist der Rang (kumulierte Intensität) angegeben, sowie das Anfangs- und Enddatum und der Zeitraum des Auftretens: 1950-2000 (orange), seit 2000 (rot), 2018 (grün). Quelle: Regional Climate Centre on Climate Monitoring (https://www.dwd.de/EN/ourservices/rcccm/int/rcccm_int_hwkltr.html).

2.4 Trockenheit

Grosse Teile Zentral- und Nordeuropas erlebten neben dem heissen auch ein sehr trockenes Sommerhalbjahr 2018. Die Trockenheit akzentuierte sich nach den zwei trockenen Monaten Mai und Juni im Laufe des weiterhin trockenen Julis. Trockenheit ist messtechnisch nicht einfach zu fassen. Es gibt deshalb nur wenig flächendeckende Informationen für ganz Europa. Eine gute Möglichkeit für flächendeckende Informationen stellen Satellitendaten dar (vgl. Kapitel 6.4). So war die Veränderung der Vegetation als Folge der Trockenheit vom Satellit aus sehr gut zu beobachten. Innerhalb eines Monats wechselte die Vegetation Nordwesteuropas von grün zu braun, obwohl der Herbst noch weit entfernt war (**Abbildung 6**).

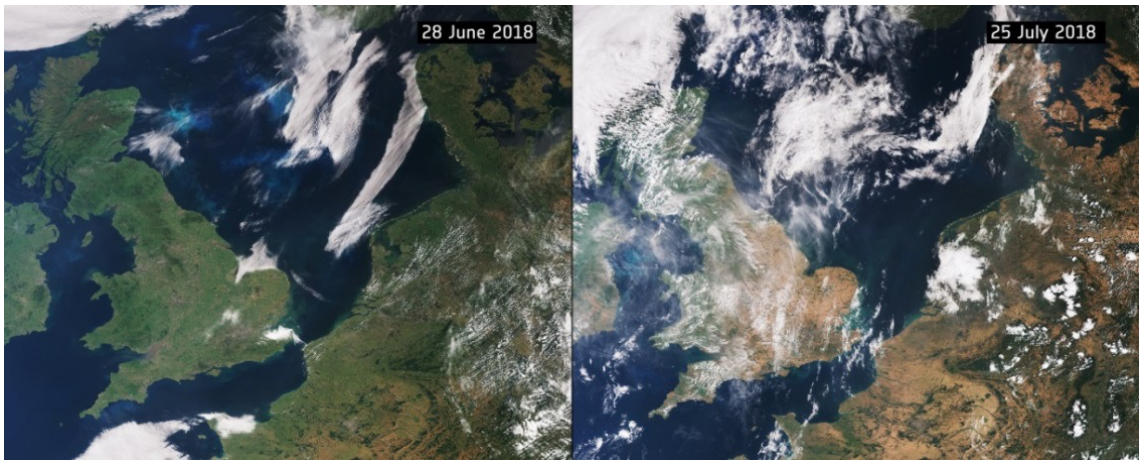

Abbildung 6: Von grün zu braun. Nordwesteuropa Ende Juni und Ende Juli 2018 im Satellitenbild (sichtbarer Kanal). Copernicus Sentinel Daten, European Space Agency (ESA). Weitere Abbildungen und Videos sind hier zu finden: http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2018/08/Summer_brown.

3 Hitze in der Schweiz

Wie in vielen Teilen Europas waren auch in der Schweiz die Monate April bis September 2018 sehr warm und trocken. Das Sommerhalbjahr von April bis September war mit einem landesweiten Mittel von 12.8 °C das wärmste seit Messbeginn. Zwischen Ende Juli und Anfang August wurde die Alpennordseite von einer 10-tägigen, die Alpensüdseite von einer 18-tägigen Hitzewelle mit einer täglichen Maximumtemperatur von über 30 °C erfasst.

3.1 Anhaltende Wärme im Sommerhalbjahr

Von April bis September 2018 erreichten alle Monate Temperatur-Spitzenplätze zwischen dem zweiten und dem siebten Rang (vgl. Tabelle 1 in Kap. 3.2). Mit 12.8 °C erreichte das Sommerhalbjahr 2018 Rang 1 in der seit 1864 verfügbaren landesweiten Datenreihe (**Abbildung 7**, unten).

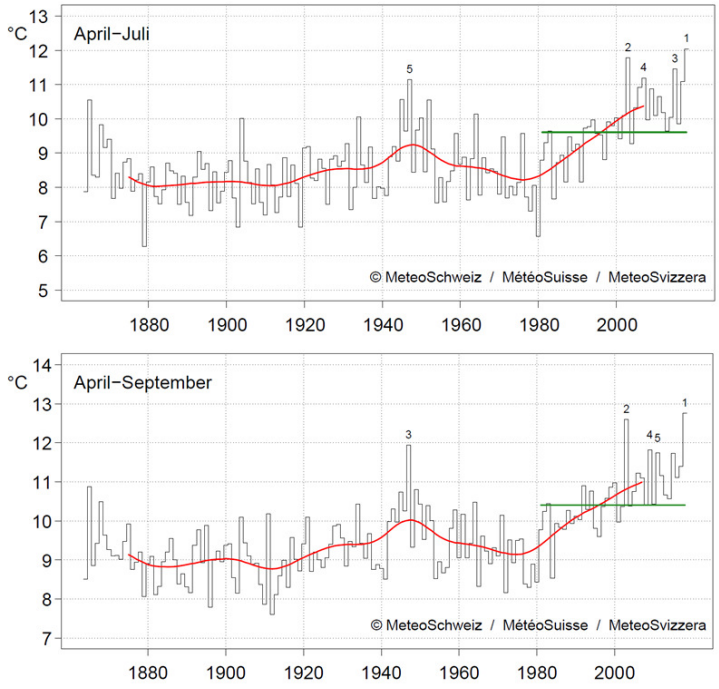

Abbildung 7: Temperatur der Periode April bis Juli (oben) und der Periode April bis September (unten) im landesweiten Mittel ab 1864 bis 2018. Die rote Linie zeigt das gleitende 30-jährige Mittel, die grüne Linie die Norm 1981–2010, welche 9.6 °C (oben) respektive 10.4 °C (unten) beträgt.

Anfang August 2018 gab es ausserdem beidseits der Alpen Hitzewellen mit Maximumtemperaturen von verbreitet über 30 °C (Kap. 3.3). Für die der Augusthitze vorauslaufende Periode April bis Juli 2018 ergab sich eine landesweite Rekordtemperatur von 12 °C (**Abbildung 7**, oben).

3.2 Klimatologische Einordnung der Monatstemperaturen

Die ungewöhnliche Wärmeperiode setzte im April ein und dauerte das ganze Sommerhalbjahr. Alle Monate von April bis September 2018 gehörten zu den wärmsten seit Messbeginn 1864 (**Tabelle 1** und **Abbildung 8**).

Tabelle 1: Klimatologische Einordnung der landesweiten Monatsmitteltemperatur von April bis September 2018.

Monat	Landesweite Abweichung zur Norm 1981 - 2010	Rang	Regionale Aspekte
April	+ 3.9 °C	2	Regional 4 bis 5 °C über der Norm 1981–2010
Mai	+ 1.9 °C	5	An einzelnen Messstandorten zweit- oder drittwärmster Mai seit Messbeginn 1864
Juni	+ 2.0 °C	4	Regional drittwärmster Juni seit Messbeginn 1864
Juli	+ 2.0 °C	5	Lokal viertwärmster Juli seit Messbeginn 1864
August	+ 2.1 °C	3	Alpennordseite lokal zweitwärmster August seit Messbeginn 1864
September	+ 2.3 °C	7	Regional zweit- bis fünftwärmster, lokal wärmster September seit Messbeginn 1864

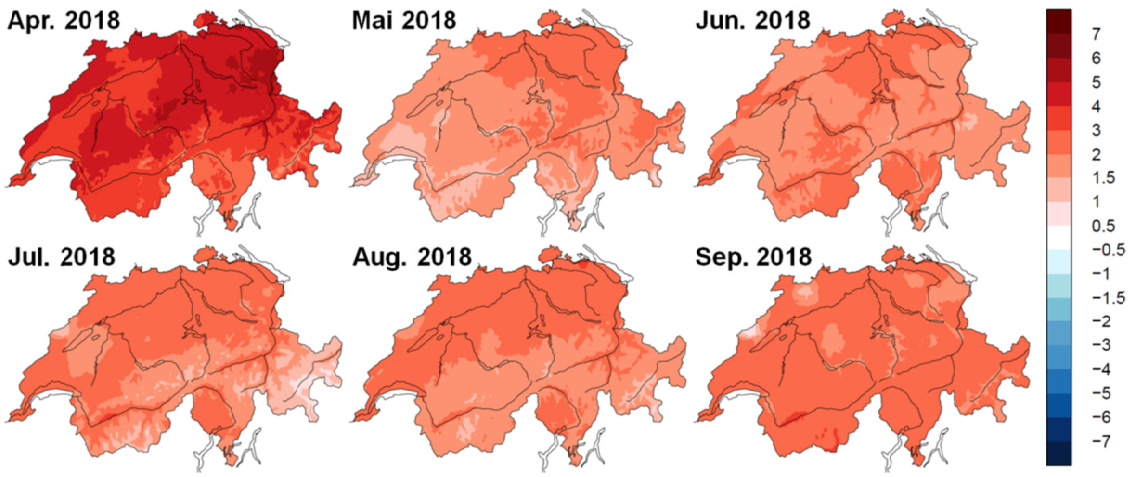

Abbildung 8: Räumliche Verteilung der Monatsmittel-Temperatur für die Monate April bis September 2018. Dargestellt ist die Abweichung zur Norm 1981–2010 in °C.

3.3 Die Hitzewellen im Juli und im August

3.3.1 10-tägige Hitzewelle auf der Alpennordseite

Nördlich der Alpen setzte ab dem 30. Juli 2018 eine anhaltende Sommerhitze mit täglichen Höchstwerten von verbreitet über 30 °C ein. Bis zum 6. August war die Schweiz fest im Griff eines Hochdruckgebiets über Europa (vgl. Kap. 2). Zum Abschluss der Hitzeperiode floss am 7. und 8. August aus Südwesten schwül-heisse Luft zur Schweiz.

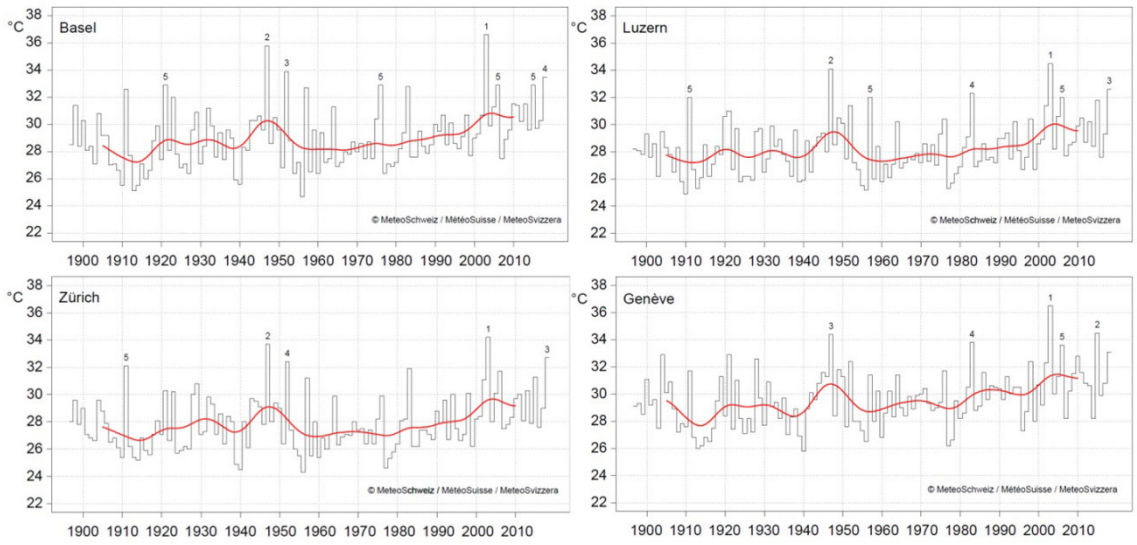

Abbildung 9: Mittlere Maximumtemperatur der jährlich wärmsten Zehntagesperioden seit Messbeginn an den Messstandorten Basel, Luzern, Zürich-Fluntern und Genf. Die ersten 5 Ränge sind jeweils markiert. Die rote Linie zeigt den über 20 Jahre gemittelten Verlauf der jährlich wärmsten Zehntagesperiode.

Diese zehntägige Hitzewelle brachte in den tiefen Lagen der Alpennordseite eine mittlere Maximumtemperatur von 32 bis 34 °C. Regional war es die dritt oder viert intensivste Zehntages-Hitzewelle seit Messbeginn, so in Basel, in Zürich und in Luzern (**Abbildung 9**). Letztmals heisser während zehn Tagen war es an diesen Messstandorten im Hitzesommer 2003 mit den Rekordwerten von 34 bis 37 °C.

In Genf erreichte die intensive Zehntageshitze 33.1 °C und somit Rang sechs seit Messbeginn 1864. Der Hitzesommer 2015 brachte eine maximale Zehntageshitze von 34.5 °C, Rang zwei in der Messreihe. Die Zehntages-Rekordhitze vom Sommer 2003 lag in Genf bei 36.5 °C.

Auf der Alpennordseite sind zehntägige Hitzewellen mit einer mittleren Maximumtemperatur von 30 °C oder höher in den letzten Jahrzehnten häufiger geworden (**Abbildung 9**). In Regionen, die immer wieder davon betroffen waren, wie zum Beispiel in der Westschweiz, folgen sie sich heute in kurzen Zeitabständen von ein bis zwei Jahren. Regionen, die in der Vergangenheit nur selten solche Hitzewellen registrierten, müssen heute auch häufiger damit rechnen.

3.3.2 18-tägige Hitzewelle auf der Alpensüdseite

Auf der Alpensüdseite stieg die Tagesmaximumtemperatur lokal bereits ab dem 22. Juli regelmässig über 30 °C. Die Hitzewelle erstreckte sich insgesamt über 18 Tage. Locarno-Monti zeichnete die dritt intensivste 18-tägige Hitzewelle seit Messbeginn 1935 auf. Die mittlere Maximumtemperatur lag bei 32.6 °C. Vergleichbar war die intensivste 18-tägige Hitzewelle vom Sommer 2003 mit 32.8 °C. Geringfügig heisser zeigte sich in Locarno-Monti die intensivste 18-tägige Hitzewelle vom Sommer 2015 mit 33.1 °C (**Abbildung 10**).

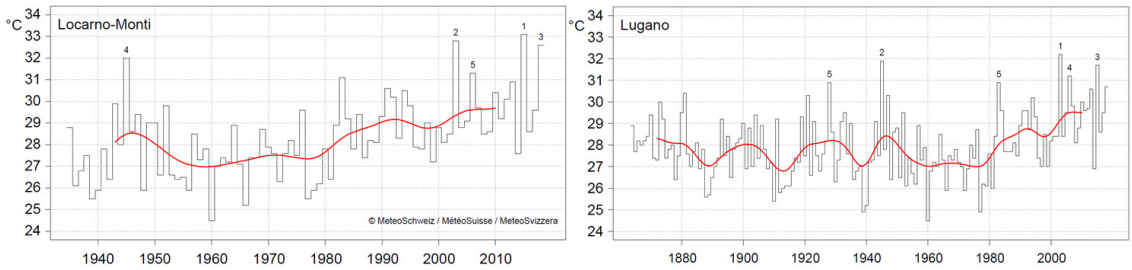

Abbildung 10: Mittlere Maximumtemperatur der jährlich wärmsten 18-Tagesperioden seit Messbeginn an den Messstandorten Locarno-Monti und Lugano. Die rote Linie zeigt den über 20 Jahre gemittelten Verlauf der jährlich wärmsten 18-Tagesperiode. Man beachte die unterschiedlichen Skalierungen der Zeit-Achsen.

In Lugano erreichte die 18-tägige Hitzewelle dieses Jahres 30.7 °C. Das ist Rang sechs seit Messbeginn 1864. Der Hitzesommer 2015 brachte eine maximale 18-Tages-Hitze von 31.7 °C, das entspricht Rang drei in der Messreihe. Die 18-Tage-Rekordhitze im Sommer 2003 lag bei über 32 °C.

Auf der Alpensüdseite waren 18-tägige Hitzewellen mit einer mittleren Maximumtemperatur von mindestens 30 °C vor 1980 selten. Heute treten sie in kurzen Zeitabständen von zwei bis vier Jahren auf (**Abbildung 10**). Gemäss den vorliegenden Klima-Szenarien ist in der Schweiz bis Ende Jahrhundert von einer deutlichen Zunahme von Hitzewellen auszugehen (Kapitel 8.2).

4 Städtische Wärmeinsel Zürich

In der Stadt Zürich lagen die Nachttemperaturen im Sommer 2018 um 4 bis 6 °C höher als in der ländlichen Umgebung in Zürich Affoltern. Im Gegensatz dazu wiesen die Tagestemperaturen nur geringe Unterschiede zwischen Land und Stadt auf. Im Sommer 2018 wurden in der Stadt Zürich zwischen 15 und 18 Tropennächte beobachtet. Das heisst, dass die Minimumtemperatur in dieser Zeit nicht unter die 20 °C Marke fiel. In Zürich Affoltern hingegen wurden 2018 keine Tropennächte beobachtet.

4.1 Hitzewelle im Stadtzentrum und am Stadtrand

Die Temperatur in Städten ist im Allgemeinen höher als auf dem Land. Dieser Effekt wird als städtische Wärminsel bezeichnet und ist eine Folge des durch die Bebauung veränderten Wärme- und Wasserhaushaltes der Stadt. Zu den allgemeinen Einflussfaktoren auf die Temperaturunterschiede gehören die geographische Breite und Lage im Relief wie auch die Entfernung zu grösseren Gewässern. Lokal wird die Stärke der städtischen Wärmeinsel von der Albedo, dem Versiegelungsgrad, den Gebäudehöhen, dem Vegetationsanteil sowie der Wärmekapazität der Bausubstanzen beeinflusst (Vogt und Parlow, 2011). Der Effekt der städtischen Wärmeinsel zeigt sich vor allem abends und in der Nacht, da die Wärme in den Städten länger gespeichert wird und sie sich dadurch langsamer abkühlen. Während der Mittagszeit sind die Temperaturunterschiede im Vergleich mit dem Umland meist nicht sehr gross. Allgemein sind die Temperaturunterschiede zwischen Stadt und Land bei windschwachen, strahlungsreichen Wetterlagen am grössten (z.B., Kuttler, 2009).

MeteoSchweiz betreibt selbst keine Messstationen in den Städten. Mit städtischen Messstationen von Partnernetzen können jedoch Angaben über die Ausbildung der städtischen Wärmeinsel gemacht werden. Diese klimatologische Analyse der städtischen Wärmeinseln in fünf Schweizer Städten findet sich in Gehrig et al., 2018. Als Beispiel wird hier die Stadt Zürich betrachtet. Die Stadt Zürich weist mehrere geeignete Stationen für diesen Vergleich auf: Zürich Kaserne, Zürich Stampfenbachstrasse und Zürich Schimmelstrasse[1]. Diese städtischen Stationen werden verglichen mit der MeteoSchweiz-Station Zürich Affoltern[2]. Obschon die Station Zürich Affoltern in einer leichten Muldenlage liegt und somit eher tiefe Nachtminima hat, repräsentiert sie das ländliche Umfeld aus den vorhandenen Messstationen von MeteoSchweiz am besten. Sie liegt ländlicher als die MeteoSchweiz-Station Zürich Fluntern, die sich in einem Wohnquartier der Stadt und an einer Hanglage befindet.

[1] Zürich Kaserne (682450 / 247990, 409 m ü.M.) ist eine Station des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL, BAFU), die Stationen Zürich Stampfenbachstrasse (683146 / 249020, 445 m ü.M.) und Zürich Schimmelstrasse (681943 / 247245, 415 m ü.M.) werden durch das AWEL des Kt. Zürichs im Messnetz der Luftqualitätsmessungen OSTLUFT betrieben.

[2] Zürich Affoltern (681428 / 253546, 444 m ü. M.)

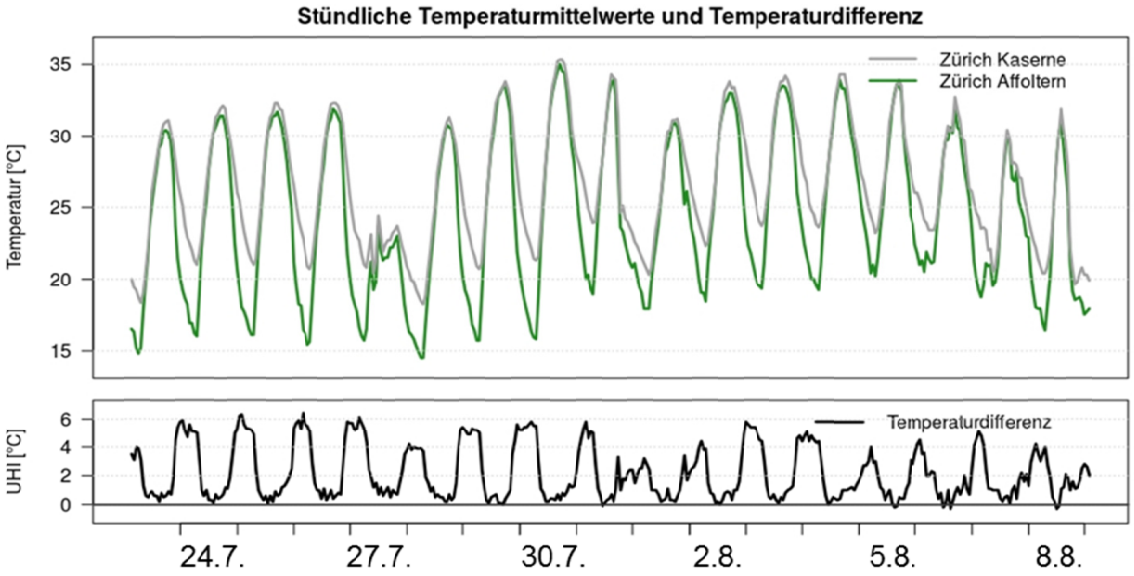

Abbildung 11: Oben: Stündlicher Temperaturverlauf in Zürich Kaserne (städtisch) und Zürich Affoltern (ländlich) vom 24. Juli bis 9. August 2018. Unten: Temperaturdifferenz Zürich Kaserne minus Zürich Affoltern angezeigt als UHI in °C (UHI: urban heat island = städtische Wärmeinsel). Zeitangabe in Mitteleuropäischer Sommerzeit (MESZ).

Abbildung 11 zeigt den Verlauf der Stundenmittelwerte der Temperatur an der städtischen Station Zürich Kaserne und der ländlichen Station Zürich Affoltern während der gesamten heissen Periode vom 24. Juli bis 9. August 2018. Der Unterschied der beiden Temperaturreihen zeigt sich vor allem in der nächtlichen Abkühlung. Der Tagesgang der städtischen Wärmeinsel (**Abbildung 11** unten) wies ein Maximum in der Nacht und ein Minimum am Tag auf.

Die Temperaturdifferenz zwischen Zürich Kaserne und Zürich Affoltern stieg im Sommer zwischen 21 bis 23 MESZ stark an und blieb bis ungefähr zum Sonnenaufgang hoch. Damit entsprach sie dem normalen Verlauf der städtischen Wärmeinsel (Gehrig et al., 2018). In Zürich Affoltern sank die Temperatur in der Nacht vom 24. bis 31. Juli auf 14.1 bis 15 °C und vom 1. bis 9. August auf 16 bis 20 °C. In der Zürcher Innenstadt an der Station Zürich Kaserne lag das nächtliche Temperaturminimum während der gesamten 17-tägigen Periode an 13 Tagen über 20 °C. Am wärmsten waren die Nächte vom 4. bis 7. August mit Nachtminima zwischen 23 und 23.4 °C. Damit waren die Nachttemperaturen während der gesamten heissen Periode zwischen 4 bis 6 °C höher als im ländlichen Umland. Im Mittel ist die Nachttemperatur im Sommer an der Station Zürich Kaserne um 2.7 °C höher als in Zürich Affoltern (Periode 1991-2017, Gehrig et al., 2018). Die deutlich höhere Temperaturdifferenz während der Hitzeperiode Anfang August 2018 stimmt mit der Aussage überein, dass die Ausprägung der Wärmeinsel bei strahlungsreichen, windschwachen Wetterlagen am grössten ist. Am grössten war die Differenz zu Beginn der heissen Periode Ende Juli, zu einem Zeitpunkt als sich das ländliche Umland noch deutlich stärker abkühlte. Während der eigentlichen Hitzeperiode im August waren die Differenzen zwischen Stadt und Land etwas kleiner (vgl. **Abbildung 11**). Ähnlich hoch wie in Zürich Kaserne lagen die Minimumtemperaturen an den beiden Stationen Schimmelstrasse und Stampfenbachstrasse. Im Mittel über die gesamte heisse Periode war das Temperaturminimum an der Schimmelstrasse um 0.5 °C und an der Stampfenbachstrasse um 0.3 °C höher als in Zürich Kaserne. Das höchste Nachtminimum der Zürcher Stationen wurde am 6. August mit 23.8 °C an der

Schimmelstrasse gemessen. Gründe für diese Unterschiede zwischen den Stationen liegen in ihrer Lage und der Bebauungsdichte in der Umgebung. Beide Stationen Stampfenbachstrasse und Schimmelstrasse liegen an einer dicht befahrenen Strasse. Der Bebauungs- und Versiegelungsgrad der Umgebung ist jedoch an der Schimmelstrasse grösser (Gehrig et al., 2018). Zürich Kaserne liegt in einem Innenhof mit Rasenfläche und ist weiter von Gebäuden entfernt.

Die Tagesmaxima unterschieden sich während der gesamten heissen Periode zwischen der Stadt und dem Land deutlich weniger als die Nachtminima. In Zürich Kaserne lagen die Tagesmaxima im Mittel um 0.8 °C höher als in Zürich Affoltern. Innerhalb der Stadt Zürich waren die Unterschiede ebenfalls nicht gross: an der Schimmelstrasse lagen die Tagesmaxima im Mittel um 1.2 °C unter jenen von Zürich Kaserne und an der Stampfenbachstrasse um 1.6 °C unter jenen der Kaserne.

4.2 Tropennächte und Hitzetage im Vergleich zu 2003 und 2015

Der Einfluss der städtischen Wärmeinsel ist ebenfalls sichtbar an den zwei Hitzeindikatoren, der Anzahl der Hitzetage[3] und der Anzahl der Tropennächte[4]. **Abbildung 12** zeigt den Vergleich dieser zwei Indikatoren zwischen Zürich Kaserne und Zürich Affoltern während der Sommermonate Juni bis August für die Jahre mit Hitzesommern 2003, 2015 und 2018. Auffällig ist auch hier der deutliche Unterschied der Anzahl der Tropennächte zwischen der Stadt und ihrer näheren Umgebung. In der Stadt Zürich wurden im Hitzesommer 2015 leicht mehr Tropennächte gemessen als im Sommer 2003 (**Abbildung 12**). Diese Beobachtung stimmt mit dem allgemein etwas häufigerem Vorkommen von Tropennächten im Sommer 2015 im Vergleich mit dem Sommer 2003 überein (MeteoSchweiz, 2016). Im aktuellen Sommer 2018 wurden mit 15 bis 18 Tropennächten rund 10 Tropennächte weniger registriert als während den vorangegangenen Hitzesommern (**Abbildung 12**). Das Jahr 2003 schwingt bei den Hitzetagen in Zürich Kaserne mit 41 Hitzetagen klar oben aus, jedoch nicht an der Stampfenbachstrasse. Der aktuelle Hitzesommer 2018 wies in Zürich Kaserne gleich viele Hitzetage wie 2015 und an den anderen beiden Stadtstationen etwas weniger als 2015 auf.

4.3 Verlauf der Tropennächte in den Hitzesommern

Die Hitzewelle vom August 2018 folgte auf eine viermonatige Periode mit überdurchschnittlichen Temperaturen (Kapitel 3.1). Tropennächte traten jedoch erst gegen Ende dieser warmen Vorlaufzeit auf. Am NABEL-Messstandort Zürich Kaserne in der Zürcher Innenstadt blieb die Minimumtemperatur erst ab Mitte Juli über 19 °C und erst gegen Ende Juli erstmals über 20 °C (**Abbildung 13**). Die Zürcher Innenstadt bewegte sich im Sommer 2018 also eher langsam in die belastende Phase der Tropennächte hinein. Insgesamt wurden 15 Tropennächte verzeichnet.

Im Hitzesommer 2015 hingegen setzte die erste belastende Phase mit Tropennächten abrupt ein und die Nachtminima stiegen Anfang Juli unvermittelt auf sehr hohe Werte. Mitte Juli und in der ersten Augusthälfte folgten zwei weitere längere Phasen mit Tropennächten. Insgesamt wurden im Hitzesommer 2015 in der Zürcher Innerstadt 27 Tropennächte registriert.

[3] Hitzetag: Tagesmaximumtemperatur ≥ 30 °C

[4] Tropennacht: Tagesminimumtemperatur ≥ 20 °C

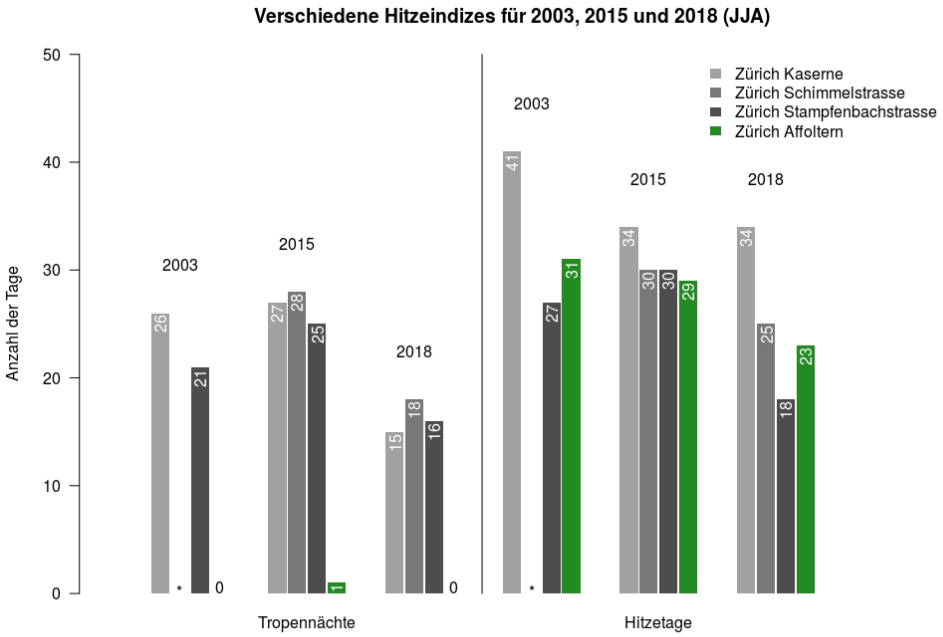

Abbildung 12: Anzahl Tropennächte und Hitzetage in Zürich Affoltern und an den Stationen der Innenstadt in Zürich während der Monate Juni, Juli und August im Vergleich der drei Hitzesommer 2003, 2015 und 2018. * Die Station Zürich Schimmelstrasse hat keine Daten im Jahr 2003.

Der bekannteste Hitzesommer 2003 belastete die Menschen in der Stadt Zürich bereits ab Anfang Juni mit hohen Nachtemperaturen knapp unter 20 °C. Tropennächte gab es ab dem 11. Juni. Eine lange belastende Phase mit Tropennächten folgte in der ersten Augusthälfte. Anschliessend sank die Nachttemperatur nur langsam unter die 20 °C Marke. Der Rekordsommer 2003 brachte der Zürcher Innenstadt insgesamt 26 Tropennächte.

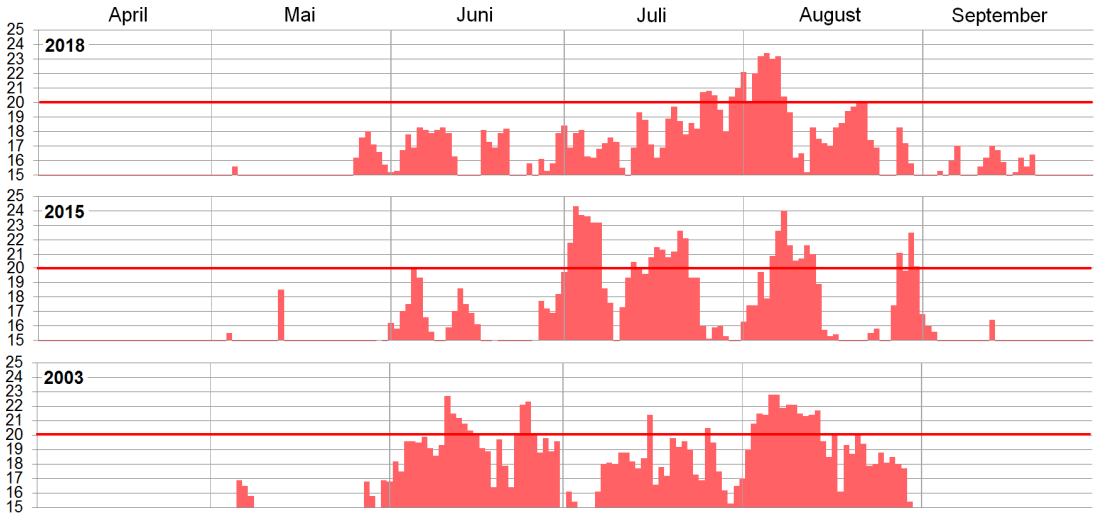

Abbildung 13: Tägliche Minimumtemperatur (°C) von April bis September am NABEL-Messstandort Zürich Kaserne in der Zürcher Innenstadt während der sommerlichen Hitzewellen der Jahre 2018, 2015 und 2003. Die Tropennacht-Grenze von 20 °C ist mit einer roten Linie markiert.

5 Niederschlagsarmut in der Schweiz

Wie in vielen Teilen Europas waren auch in der Schweiz die Monate April bis September 2018 sehr niederschlagsarm. So erreichte die Niederschlagsmenge im Sommerhalbjahr 2018 im landesweiten Mittel nur 69 Prozent der Norm 1981-2010.

5.1 Anhaltende Niederschlagsarmut im Sommerhalbjahr

Die ab April 2018 anhaltende Wärme wurde begleitet von einer ausgeprägten Niederschlagsarmut (**Abbildung 14**). Im landesweiten Mittel erreichte die Niederschlagsmenge von April bis September 2018 nur 69 Prozent der Norm 1981–2010 (**Abbildung 15**, oben). Schweizweit ähnlich niederschlagsarm war das Sommerhalbjahr letztmals im Jahr 2003 mit 72 Prozent. Niederschlagsärmer zeigte sich das Sommerhalbjahr letztmals 1962 mit nur 67 Prozent der Norm 1981–2010 (**Abbildung 15**, oben).

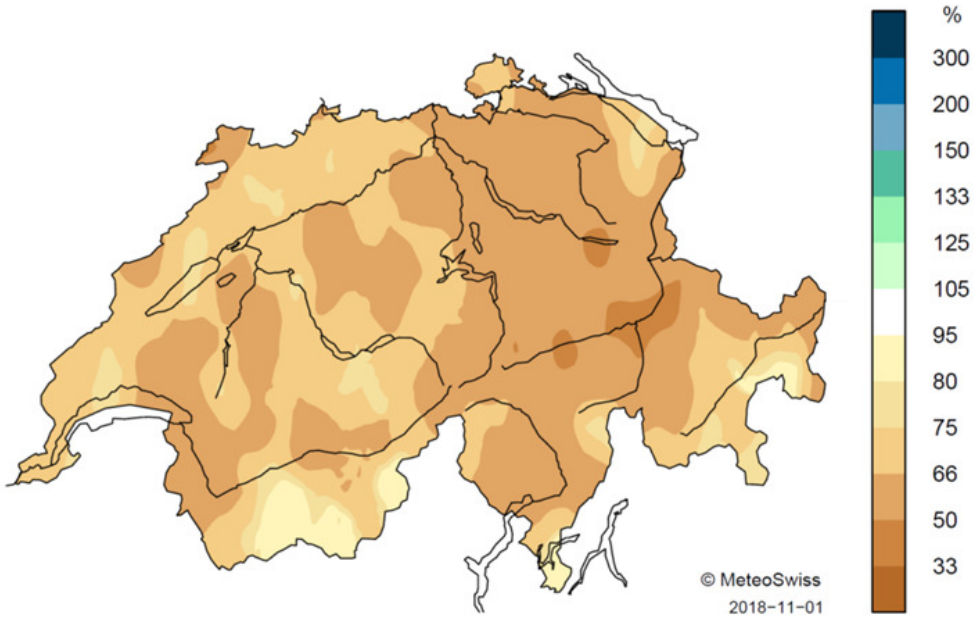

Abbildung 14: Die relativen Niederschlagsabweichungen in der Schweiz von April bis September 2018 als Verhältnis zur Norm 1981–2010 in Prozent.

Die Variabilität der Niederschlagssummen im Sommerhalbjahr ist sehr hoch (**Abbildung 15**). Im landesweiten Mittel zeichnet sich in der Messperiode von 1864 bis 2018 kein signifikanter Trend zu mehr oder zu weniger Niederschlag im Sommerhalbjahr ab.

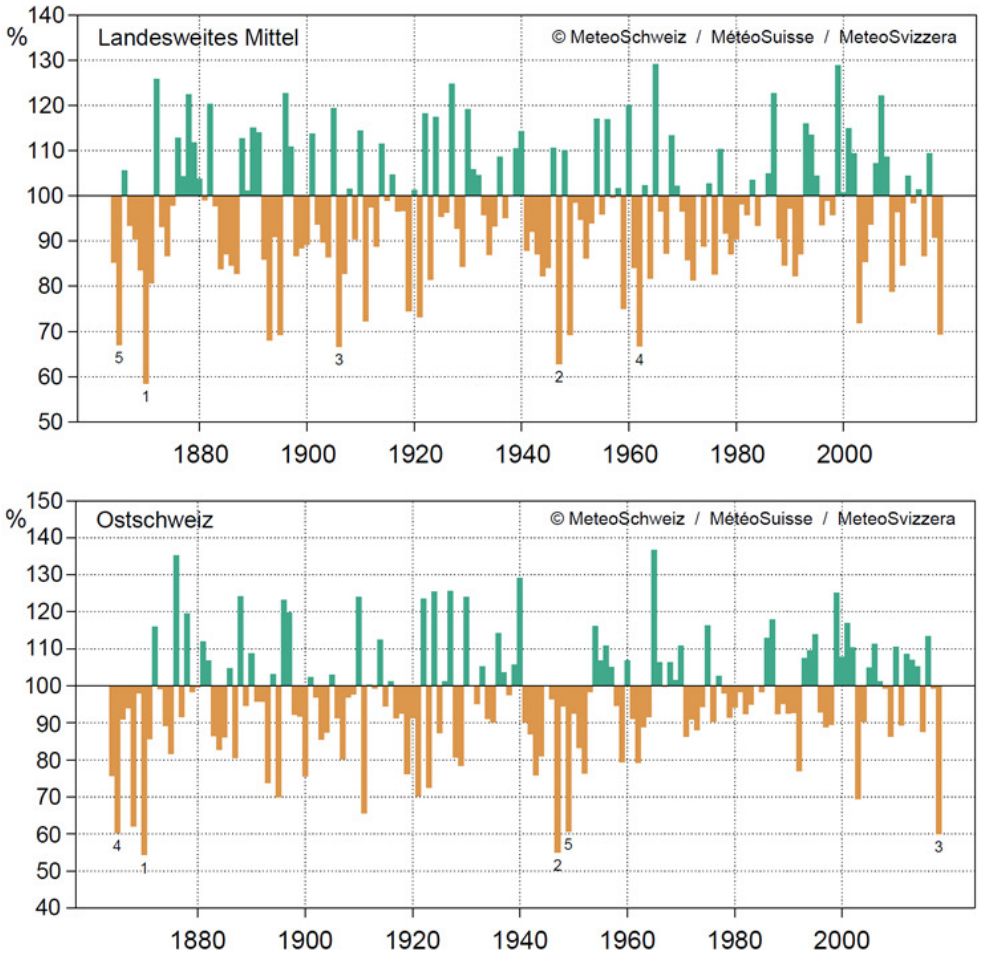

Abbildung 15: Langjähriger Verlauf der relativen Niederschlagsabweichung von April bis September (Sommerhalbjahr) gemittelt über die ganze Schweiz (oben) und über die Ostschweiz zwischen Zürichsee/Walensee und Bodensee (unten) dargestellt als Verhältnis zur Norm1981–2010. Die grünen Säulen zeigen überdurchschnittliche, die braunen unterdurchschnittliche Niederschlagssummen.

In der Ostschweiz zwischen Zürichsee/Walensee und Bodensee blieben die Niederschlagsmengen im Sommerhalbjahr 2018 mit nur 60 Prozent weit unter der Norm 1981–2010 (**Abbildung 15**, unten). In dieser Region war es das dritt niederschlagsärmste Sommerhalbjahr seit Messbeginn 1864. Gebietsweise hat sich die Niederschlagsarmut sogar zu einem Jahrhundert-Ereignis entwickelt. An einigen Messstandorten mit 100-jährigen oder längeren Aufzeichnungen ergab sich daraus die deutlich massivste Niederschlagsarmut im Sommerhalbjahr seit Messbeginn (**Abbildung 16**).

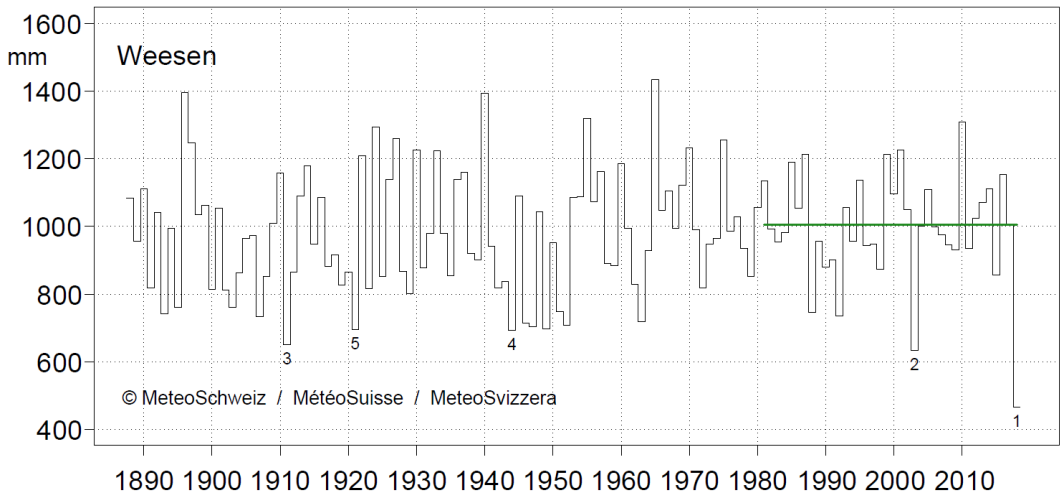

Abbildung 16: Die extreme Niederschlagsarmut im Sommerhalbjahr 2018 im klimatologischen Vergleich dargestellt am Beispiel der Niederschlagsmessreihe Weesen am Walensee. Die grüne Linie zeigt die Norm 1981–2010.

5.2 Klimatologische Einordnung der Monatsniederschläge

Im Sommerhalbjahr 2018 von April bis September brachten alle Monate in den meisten Gebieten der Schweiz unterdurchschnittliche Niederschlagsmengen. Der Juni war lokal der niederschlagsärmste, der Juli lokal der zweit niederschlagsärmste Monat seit Messbeginn (**Abbildung 17** und **Tabelle 2**).

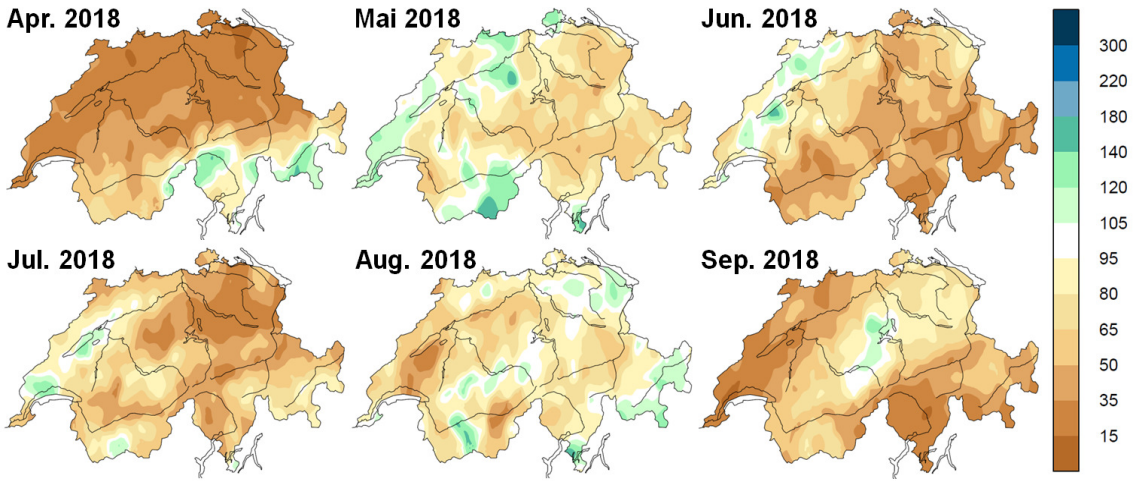

Abbildung 17: Räumliche Verteilung der monatlichen relativen Niederschlagsabweichungen von April bis September 2018. Dargestellt ist das Verhältnis zur Norm 1981-2010 in Prozent.

Tabelle 2: Klimatologische Einordnung der Monatsniederschläge von April bis September 2018.

Monat	Niederschlag in Prozent zur Norm 1981-2010	
	Landesweite Übersicht	**Regionale Aspekte**
April	Verbreitet nur 20–40 % der Norm	Östliches Mittelland: 10–20 % Westliches Mittelland: 20–40 % Alpennordhang: 30–50 % Wallis: 60–85 % Alpensüdseite, Engadin: regional über 100 %
Mai	Mit häufigen Gewitterlagen sehr unterschiedliche Niederschlagsmengen	West-, Nordwestschweiz, Wallis: 80–130 % Alpensüdseite, Engadin: 50– 90 % Südtessin: 130–140 % Übrige Gebiete: meist 60–110 %
Juni	In einigen Gebieten nur 20–40 % der Norm. Lokal Rekorde bei der Niederschlagsarmut	In den Zentral- und Ostalpen regional der zweit- bis fünft niederschlagsärmste Juni seit Messbeginn 1864. In Braunwald, Kandersteg und Susch (über 100-jährige Messreihen) niederschlagsärmster Juni seit Messbeginn.
Juli	In weiten Gebieten sehr niederschlagsarm mit nur 20–40 %	Mittelland, östlicher Alpennordhang: 20–30 % Alpensüdseite: regional um 100 % Westschweiz: regional 100–140 %
August	In vielen Gebieten 70–100 %	West-, Nordwestschweiz, Wallis: 30–80 % In Lausanne und Romont (über 100-jährige Messreihen) zweit niederschlagsärmster August seit Messbeginn.
September	In weiten Gebieten unter 50 %	Westschweiz, Alpensüdseite: 20–30 % Mittelland, Wallis, Graubünden: 30–80 % Alpennordhang: 80–100 %

6 Trockenheit

Trockenheitsindizes berücksichtigen neben Niederschlag auch den Einfluss der Verdunstung. Ausgeprägt negative Wasserbilanzen wurden vor allem in den östlichen und südlichen Regionen der Schweiz beobachtet. Im langjährigen Vergleich seit 1864 war der Sommer 2018 äusserst trocken und in gewissen Regionen war es trockener als 2003 und 2015.

6.1 Trockenheit: mehr als Niederschlagsarmut

In den vorangegangenen Kapiteln wurde die Niederschlagsarmut im Detail besprochen. Diese ist eine sehr wichtige Komponente, die zu Trockenheit führt, allerdings nicht die einzige. Wird Trockenheit als Wasserverfügbarkeit des Bodens definiert, spielt die Verdunstung eine entscheidende Rolle. Sie verstärkt die Trockenheit zusätzlich, da verdunstendes Wasser der Vegetation nicht mehr zu Verfügung steht. Im Folgenden werden einige Grössen besprochen, die über die Niederschlagsarmut hinausgehen.

6.2 Wasserbilanz als Mass für Trockenheit

In diesem Unterkapitel wird die Wasserbilanz über 3 Monate als einfaches und anschauliches Mass für die Trockenheit verwendet. Die Wasserbilanz ist die Differenz von Niederschlag (P) und potenzieller Verdunstung (E). Positive Werte bedeuten, dass mehr Wasser durch Niederschlag in den Boden kommt als verdunstet. Bei negativen Werten trocknet der Boden aus, da mehr Wasser verdunstet als durch Niederschlag in den Boden kommt. Die potenzielle Verdunstung wird mit der Methode nach Hargreaves (Hargreaves und Samani, 1985) berechnet. Sie beruht rein auf der Temperatur und wird über die täglichen Minimum- und Maximumtemperaturen berechnet.

6.2.1 Verlauf der Wasserbilanz

Abbildung 18 zeigt den Verlauf der Wasserbilanz akkumuliert über drei Monate an vier Stationen aus verschiedenen Landesregionen für die Jahre 2018, 2015 und 2003. Die Wasserbilanz kann vor allem im Sommer und Herbst an gewissen Schweizer Stationen im klimatologischen Mittel negativ sein, so zum Beispiel in Chur, Basel-Binningen und Genève Cointrin (nicht gezeigt). Die grösste Trockenheit zeigte sich 2018 in den östlichen und südlichen Landesteilen. Als Beispiele zeigen wir hier die Standorte Chur und Locarno-Monti. In Chur traten 2018 sehr grosse negative Wasserbilanzen von bis -250 mm auf. Negative Werte sind in Chur an sich nichts aussergewöhnliches, aber Werte in diesem Bereich durchaus. In Locarno-Monti wurden Werte von gegen -100 mm berechnet, was ebenfalls sehr aussergewöhnlich ist. In den nordwestlichen (hier gezeigt am Beispiel in Ba-

sel/Binningen) und westlichen Landesteilen (hier Fribourg-Posieux) zeigt sich die Trockenheit etwas weniger ausgeprägt. Das stimmt mit der Analyse der Regenarmut (vgl. **Abbildung 14** in Kap. 5.1) gut überein.

Die Verläufe unterscheiden sich in den verschiedenen Landesteilen deutlich. Im Osten war der Herbst 2017 und vor allem der Spätwinter 2017/18 noch sehr „nass“. Die Trockenheit setzte dann in der Ostschweiz im April 2018 ein und verstärkte sich bis zum September 2018 stetig. Im Süden hingegen waren der Spätherbst 2017 und Frühwinter 2017/18 schon sehr trocken. Der Spätwinter 2017/18 war normal bevor sich die Trockenheit vor allem ab Mitte Juni stark ausprägte. Im Nordwesten und vor allem im Westen gab es einen trockenen Herbst 2017, einen eher feuchten Spätwinter 2017/18 und ab April 2018 eher trockene Verhältnisse.

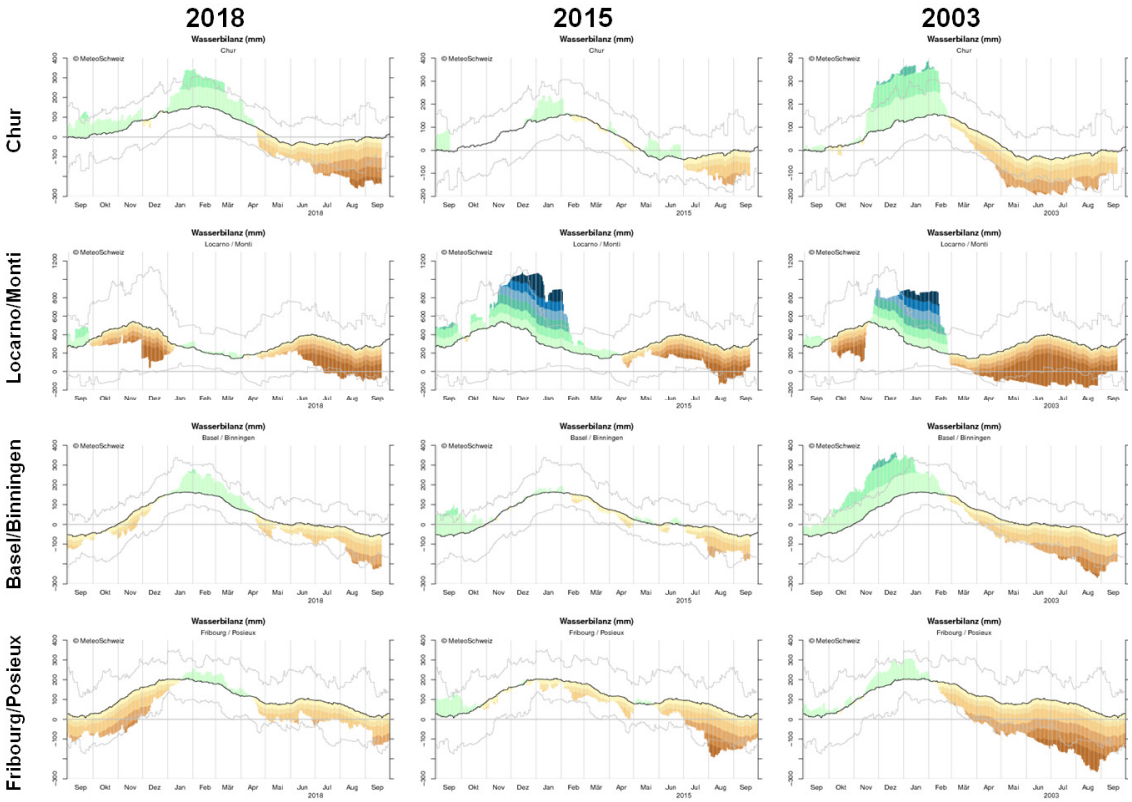

Abbildung 18: Wasserbilanz P minus E (in mm) jeweils als über 3 Monate aufsummiertes gleitendes Mittel in verschiedenen Landesteilen für die trockenen Jahre 2018 (links), 2015 (Mitte) und 2003 (rechts). 1. Zeile: Ostschweiz (Station Chur), 2. Zeile: Südschweiz (Station Locarno-Monti), 3. Zeile: Nordwestschweiz (Basel/Binningen), 4. Zeile: Westschweiz (Fribourg/Posieux). Brauntöne zeigen trockenere Verhältnisse als normal, Grün- und Blautöne feuchtere als normal. Starke Trockenheit liegt vor, wenn die Wasserbilanz deutlich negativ ist. Schwarze Linie: Mittel 1981-2010; graue Linien: 5. und 95. Perzentil der Werte 1981-2010.

6.2.2 Die Wasserbilanz im Vergleich zu 2003 und 2015

Anhand der Wasserbilanzwerte und deren Verlauf wird die Trockenheit 2018 kurz mit den bekannten trockenen Sommern von 2015 und 2003 verglichen. Es werden die maximale *Stärke*, die *Dauer* und der *zeitlichen Verlauf* bzw. die *Vorgeschichte* der Trockenheit betrachtet (siehe **Abbildung 18**).

In der Ost- und Südschweiz war die maximale Stärke der Trockenheit in 2018 und 2003 ähnlich. Allerdings wurden 2003 schon im Mai und Juni stark negative Werte erreicht, während 2018 vor allem ab Juli die Wasserbilanz tiefe Werte erreichte. Die Trockenheit 2015 war in den meisten Regionen eher schwächer, vielleicht mit Ausnahme vom August im Tessin. Im Nordwesten und vor allem im Westen war 2003 deutlich trockener als 2018. In der Westschweiz war auch 2015 trockener als 2018, im Nordwesten hingegen war 2018 etwas trockener als 2015.

2003 setzte die Trockenheit in allen Regionen schon im Februar oder März ein, während 2018 erst ab Mitte April Trockenheit auftrat. Mit Ausnahme von der Westschweiz ist die Dauer 2018 länger als 2015, wo die Trockenheit gebietsweise erst im Juni einsetzte.

6.3 Klimatologische Einordnung der Trockenheit

Für den langjährigen Vergleich der Trockenheit im Sommerhalbjahr wird ein weiteres Trockenheitsmass, der sogenannte SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index, Vicente-Serrano et al., 2010) verwendet. Der Index zeigt die standardisierte Abweichung der mittleren klimatischen Wasserbilanz im langjährigen Vergleich (Messbeginn bis heute). Im Gegensatz zu Kapitel 6.2 wird der SPEI auf der Basis von Monatswerten berechnet. Die potentielle Verdunstung wird nach der Methode von Thornthwaite (Thornthwaite, 1948) basierend auf Mitteltemperaturen berechnet.

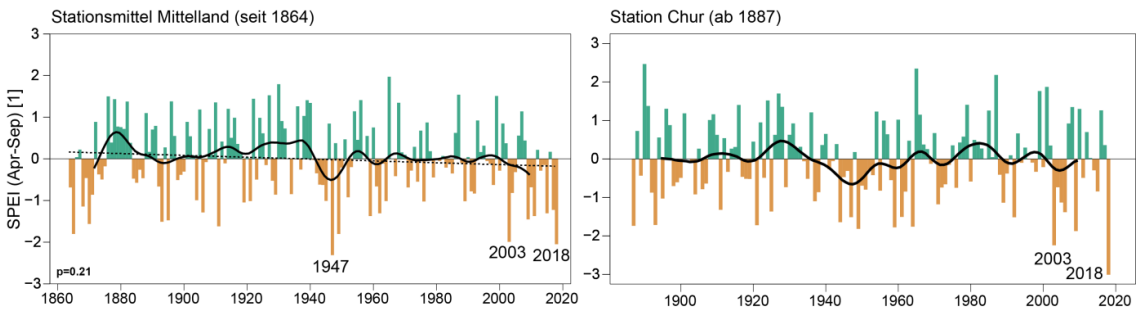

Abbildung 19: SPEI Verlauf für das Sommerhalbjahr (April bis September) seit 1864 für ein Mittel der Mittelland Stationen Basel/Binningen, Bern/Zollikofen, Genève-Cointrin und Zürich/Fluntern (links) und für die Station Chur (rechts). Die Referenzperiode umfasst den vollen Zeitraum von Messbeginn bis 2018.

Abbildung 19 zeigt den Verlauf des gemittelten SPEI Index aus vier Mittellandstationen (links) und für Chur (rechts). Das Sommerhalbjahr 2018 war im langjährigen Vergleich ein sehr trockenes Jahr (SPEI kleiner als -2). Das Mittellandmittel erreichte 2018 nach 1947 und vor 2003 den zweittiefsten SPEI-Wert seit Messbeginn 1887. In Chur, einer der stark von Trockenheit betroffenen Regionen, erreichte der SPEI-Wert sogar klar den tiefsten Wert seit Messbeginn 1887. Der SPEI-Trend im Sommerhalbjahr ist nicht signifikant. Allerdings scheint die mit zunehmender Temperatur ebenfalls

zunehmende potenzielle Verdunstung (vgl. Abbildung 20**)** zu einer leicht abnehmenden Tendenz des SPEI zu führen. Die trockenen Jahre treten in den letzten 10-15 Jahren gehäuft auf (Abbildung 19). Zu beachten ist, dass die im SPEI verwendete potenzielle Verdunstung nach Thornthwaite (1948) nur die Temperatur berücksichtigt. Ein Vergleich mit der Referenzverdunstung FAO-56 (Allen et al., 1998) der Food and Agriculture Organisation (FAO) der Vereinten Nationen, welche weitere Grössen wie Strahlung und Wind berücksichtigt, zeigt allerdings eine recht gute Übereinstimmung der Werte für die Jahre 1981 bis 2018.

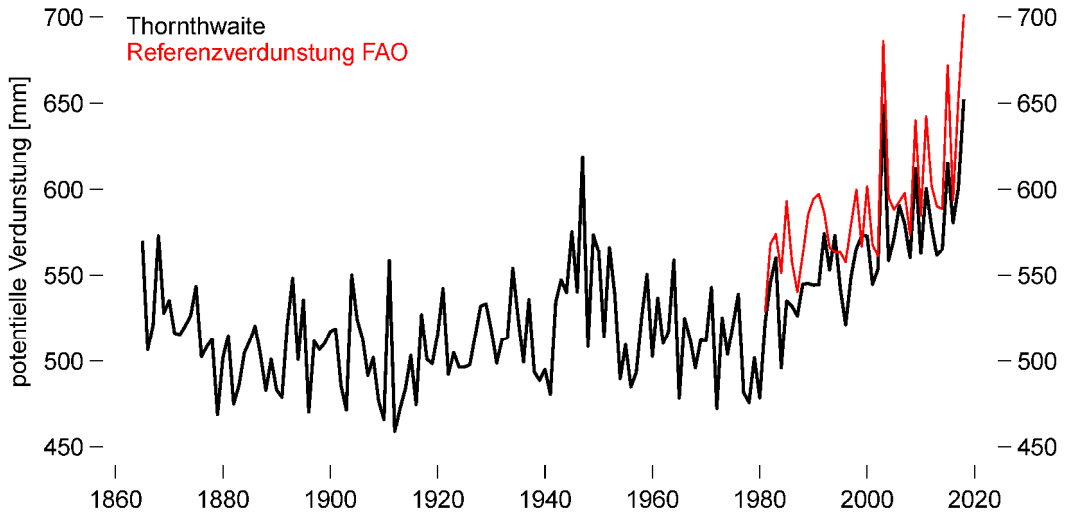

Abbildung 20: Verlauf der potentiellen Verdunstung [mm] für das Sommerhalbjahr (April bis September) seit 1864 für ein Mittel der Mittelland Stationen Basel/Binningen, Bern/Zollikofen, Genève-Cointrin und Zürich/Fluntern. Schwarz: nach Thornthwaite (1948), rot: nach FAO-56 (Allen et al., 1998) seit 1981.

6.4 Räumliche Verteilung der Trockenheit

Satellitensensoren erfassen zwei wichtige physikalische Parameter der Trockenheit: die Temperatur der äussersten Schicht der Erdoberfläche und das Grün der Vegetation. Ein trockener Boden heizt sich bei hohen Lufttemperaturen im Laufe des Tages stark auf. Bei Trockenstress verfärben sich viele Pflanzen. Die Weltorganisation für Meteorologie (WMO) hat deshalb den satelliten-basierten Trockenheitsindex, genannt Vegetation Health Index (VHI), definiert. Ein niedriger VHI reflektiert hohe Bodentemperaturen und beanspruchte Vegetation. Der VHI reflektiert daher nicht zwingend eine rein meteorologische Trockenheit, die aus Parametern wie Niederschlag und Lufttemperatur berechnet wird. So zeigen beispielsweise Gebiete mit wenig Niederschlag aber starker Bewässerung keinen Vegetationsstress und treten deshalb auf Satellitenindizes nicht hervor. Satelliten-basierte Trockenheitsindizes veranschaulichen vielmehr die Auswirkung der meteorologischen Trockenheit und geben Hinweise auf betroffene Gebiete. Der VHI kann anhand von modernen Satellitendaten wöchentlich mit einer räumlichen Auflösung von etwa 3 km berechnet werden.

Die extreme Niederschlagsarmut im Frühjahr und Sommer und die Hitzewelle Ende Juli und Anfang August schlägt sich eindrücklich in den Satellitenindizes nieder. Der VHI zeigt sehr niedrige Werte im

August 2018 im Mittelland und nördlichen Jura (**Abbildung 21**). Hier werden stellenweise die Tiefstwerte der Trockenheitsjahre 2003 und 2015 erreicht (nicht gezeigt). In der Südschweiz und in der äussersten Westschweiz zeigt der VHI keine deutlichen Anomalien. Im Jahresverlauf betrachtet setzte die vom Satelliten beobachtete Veränderung der Vegetation und Oberflächentemperatur ab Juni vereinzelt und ab Mitte Juli auch über grosse Gebiete ein (**Abbildung 21**).

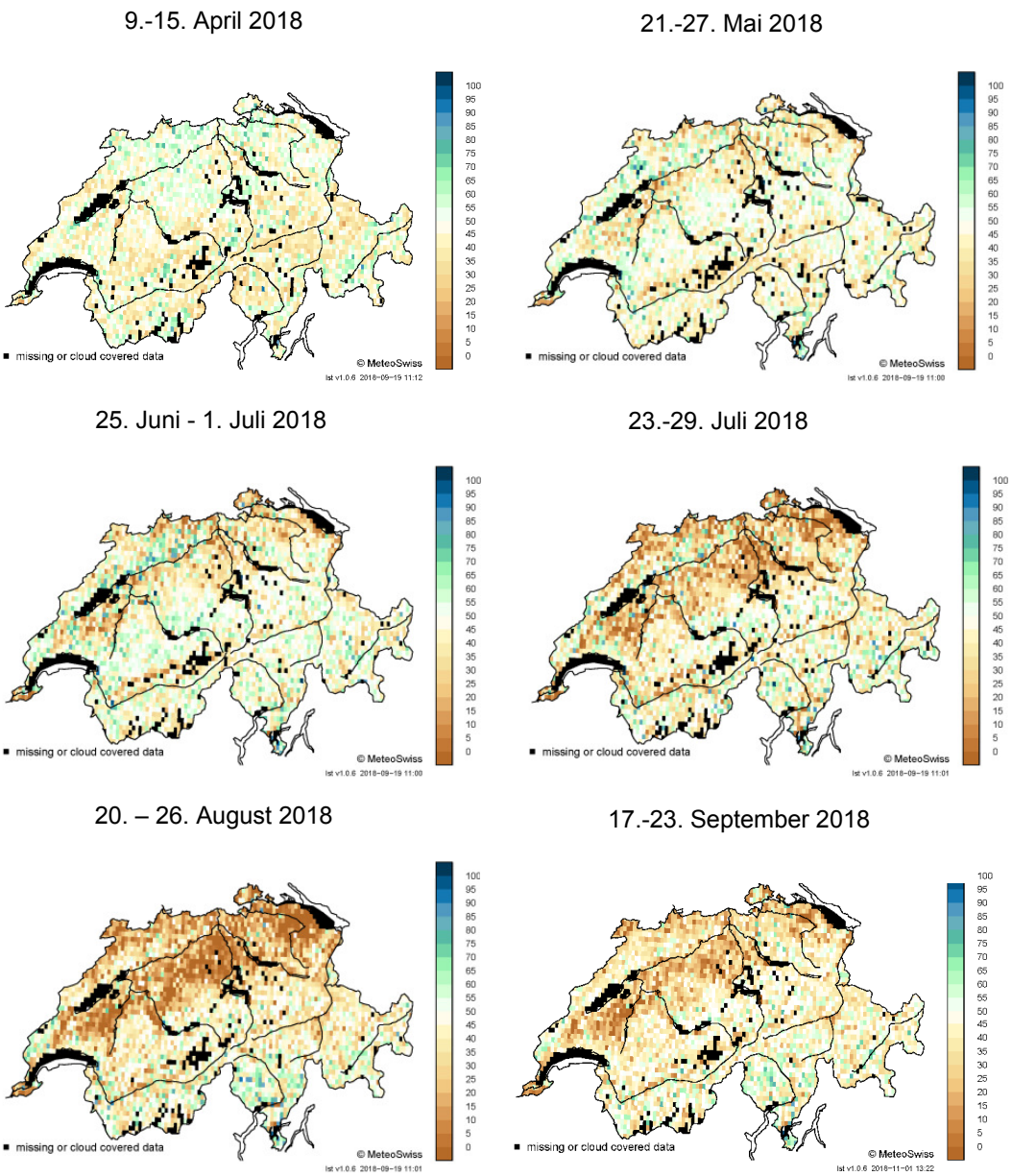

Abbildung 21: Räumliche Verteilung des satelliten-basierten Trockenheitsindizes VHI für April, Mai, Juni, Juli, August und September 2018. Dargestellt ist das Verhältnis zur wöchentlichen Norm 1991-2018 in Prozent gemäss der Legende. Schwarze Punkte kennzeichnen fehlende Werte.

7 Die Entwicklung der Vegetation

Die Vegetation entwickelte sich im Sommer 2018 sehr früh. Sowohl die Blüte als auch die Fruchtreife der beobachteten Pflanzen hatten zwischen 13 und 20 Tagen Vorsprung gegenüber dem Mittel aus der Norm-Periode 1981-2010. Ebenfalls trat die Blattverfärbung verschiedener Baumarten durch die anhaltende Trockenheit aussergewöhnlich früh auf.

7.1 Phänologische Beobachtungen

Die phänologischen Phasen im Sommer umfassen die Blüte von Sommer- und Winterlinde, die Fruchtreife des Roten und Schwarzen Holunders und der Vogelbeere. Im Spätsommer wird die Blüte der Herbstzeitlose beobachtet. Die meisten Phasen werden seit 1951 beobachtet. Die Fruchtreife des Roten und Schwarzen Holunders und die Blattverfärbung einzelner Bäume sind seit 1996 im phänologischen Programm enthalten.

Für die Analysen wurden Stationen berücksichtigt, die bei den seit 1951 beobachteten Phasen mindestens 20 Beobachtungsjahre und bei den seit 1996 beobachteten mindestens 15 Jahre aufweisen. Das Jahr 2018 wird dabei mit allen vorhandenen Daten der Stationen verglichen. Für die langen Datenreihen werden die Angaben zur Abweichung in Tagen zusätzlich mit der 30-jährigen Periode 1981-2010 gezeigt. Die Klassen „sehr früh“, „früh“, „normal“, „spät“ und „sehr spät“ werden mit Quantilen der gesamten Datenreihe gebildet (Klassengrenzen bei 10 %, 25 %, 75 %, 90 %). Zum Zeitpunkt der Analysen liegen die online gemeldeten phänologischen Beobachtungen vor. Sobald der phänologische Datensatz vollständig ist können sich daher die Aussagen zur Vegetationsentwicklung noch leicht ändern.

7.2 Rekordfrühe Blüte und Fruchtreife

Zu Beginn des Sommers Anfang Juni hatte die Vegetation schon einen grossen Vorsprung auf das 30-jährige Mittel der Normperiode 1981-2010, denn sie profitierte von den anhaltend hohen Temperaturen seit April. Erste blühende Sommerlinden wurden schon Ende Mai beobachtet. Die meisten Sommerlinden blühten jedoch in der ersten Junihälfte mit einem mittleren Vorsprung von 16 Tagen auf die Norm. An 11 von 41 vorliegenden Stationen wurde die Blüte der Sommerlinde noch nie so früh beobachtet wie in diesem Jahr (**Abbildung 22**). An weiteren 13 Stationen war es die zweit- oder drittfrüheste Blüte, meist nach den Jahren 2007 und 2011. Dabei konnten 82 % aller Beobachtungen der Sommerlinde in die Klassen „früh“ und „sehr früh“ eingeordnet werden. Auch die ein wenig später blühenden Winterlinden wiesen einen Vorsprung von 17 Tagen auf die Norm auf.

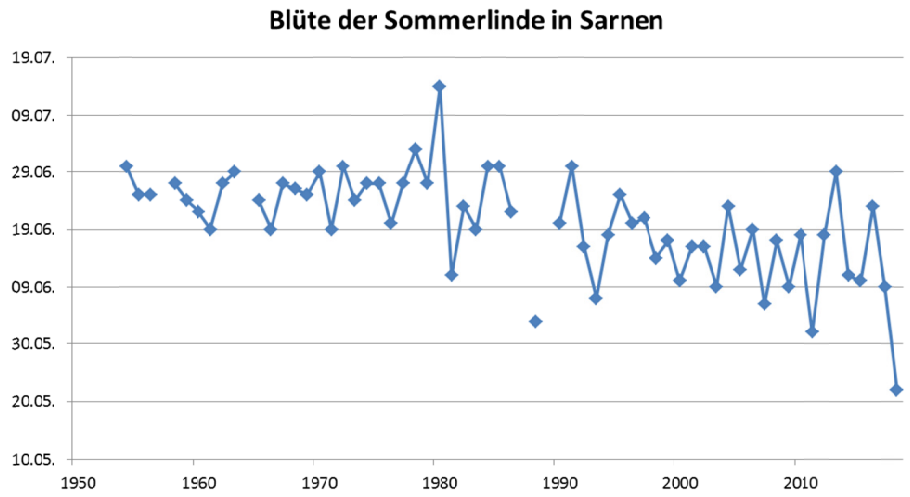

Abbildung 22: Datum der Blüte der Sommerlinde in Sarnen

Reife Beeren des Roten Holunders wurden von Mitte Juni bis Mitte Juli 2018 beobachtet. Sie wiesen einen Vorsprung von 13 Tagen auf das Mittel seit 1996 auf. Die Fruchtreife des Schwarzen Holunders wurde von Ende Juli bis Ende August 2018 beobachtet, wobei der Vorsprung auf das Mittel von 1996 bis heute 16 Tage betrug. An 14 von 38 Stationen war es die früheste Fruchtreife des Schwarzen Holunders seit Beobachtungsbeginn 1996. An 13 weiteren Stationen war es die zweit- oder drittfrüheste Fruchtreife. 78 % aller Beobachtungen konnten in die Klassen „früh“ und „sehr früh“ eingeordnet werden. Mit einem Vorsprung von 20 Tagen auf das Mittel der Normperiode 1981-2010 wurde die Fruchtreife der Vogelbeere im Juli und August beobachtet. Blühende Herbstzeitlosen traten ab Mitte August auf, mit einem Vorsprung von 9 Tagen auf das Mittel. Die Blüte der Herbstzeitlose ist jedoch auch vom Schnittzeitpunkt der Wiesen abhängig und nicht nur vom Wetter beeinflusst.

Abbildung 23: Buchen im Trockenstress mit frühzeitiger Blattverfärbung am 5. August in Anwil (BL) (Foto R. Gehrig)

Phänologischer Kalender für die Station Rafz (1952−2017) und Saison 2018

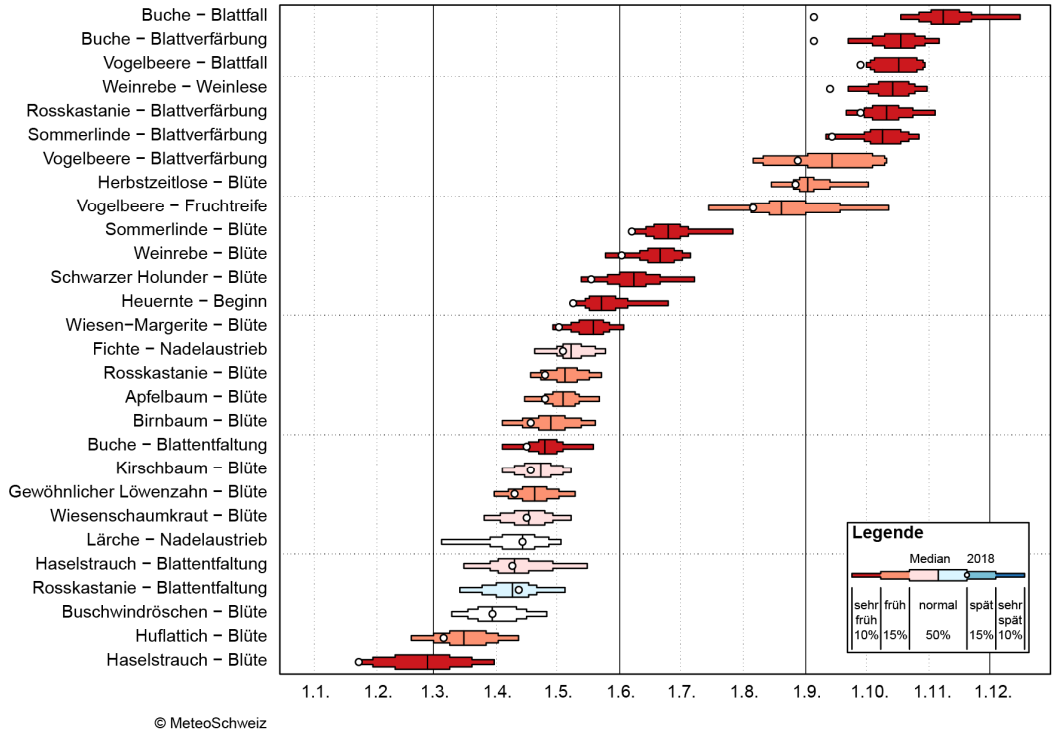

Abbildung 24: Phänologischer Kalender 2018 von Rafz. Die Verteilung zeigt alle bisherigen Beobachtungen seit 1952 (ausser Sommerlinde Blattverfärbung und Vogelbeere Blattverfärbung und -fall seit 1996). Das Datum des aktuellen Jahrs wird als weisser Kreis dargestellt und je nach seiner zeitlichen Einordnung von sehr früh bis sehr spät wird die Vergleichsperiode eingefärbt. Liegt die Beobachtung im Jahr 2018 präzis beim Median, bleibt die Vergleichsperiode weiss.

Bis Ende September 2018 meldeten erst 15 phänologische Stationen die Weinlese. An diesen Stationen waren die Termine meistens sehr früh und hatten einen mittleren Vorsprung von 29 Tagen auf das Mittel der Normperiode 1981-2010.

Der Trockenstress im Sommer (vgl. Kapitel 6) führte bei vielen Bäumen zu einer frühzeitigen Blattverfärbung oder zu Blattverlusten. Unter Trockenheit litten vor allem die Buchen, besonders häufig an Standorten mit geringmächtigen oder durchlässigen Böden. Ab Ende Juli konnte das frühzeitige Verwelken der Blätter der Buche in verschiedenen Regionen beobachtet werden (**Abbildung 23**). Auch bei anderen Baumarten konnten Blattverfärbungen beobachtet werden, so zum Beispiel bei den Linden. An den Stationen, die die Blattverfärbung der Buche, der Sommer- und Winterlinde und der Rosskastanie bis Ende September meldeten, trat die Blattverfärbung überall sehr früh auf. Der Vorsprung bei den Linden auf das Mittel seit Messbeginn 1996 betrug rund 26 Tage, bei der Buche und der Rosskastanie lag der Vorsprung auf das Mittel der Periode 1981-2010 bei 20-23 Tagen. **Abbildung 24** illustriert die sehr frühe Pflanzenentwicklung im Sommer 2018 anhand des phänologischen Kalenders von Rafz.

Die Trockenheit kann auch einen Einfluss auf die Länge der Gräserpollensaison haben. Der letzte Tag mit starkem Pollenflug wurde bei den meisten Pollenmessstationen in der letzten Junidekade oder Anfang Juli gemessen. Im Tessin ist das später als normal, auf der Alpennordseite liegt dieser Termin jedoch um fast zwei Wochen früher als normal. Das frühe Ende des starken Pollenflugs auf

der Alpennordseite kann möglicherweise auf die Trockenheit zurückgeführt werden. Ein ähnlich frühes Ende wurde auch im Hitzesommer 2003 beobachtet (Gehrig, 2006).

7.3 Entwicklung der Vegetation im Vergleich zu 2003 und 2015

Im Vergleich zu den Hitzesommern 2003 und 2015 war der Vorsprung der Vegetation im Sommer 2018 deutlich grösser. Bereits zu Beginn des Sommers, Ende Mai und Anfang Juni belief sich der Vorsprung bei der Blüte des Schwarzen Holunders auf 14 Tage auf das Mittel der Periode 1981-2010. Alle Sommerphasen zusammen hatten im Jahr 2018 einen Vorsprung von 16 Tagen auf das Mittel seit Messbeginn[5]. In den Sommern 2015 und 2003 betrug dieser Vorsprung nur 7 respektive 12 Tage.

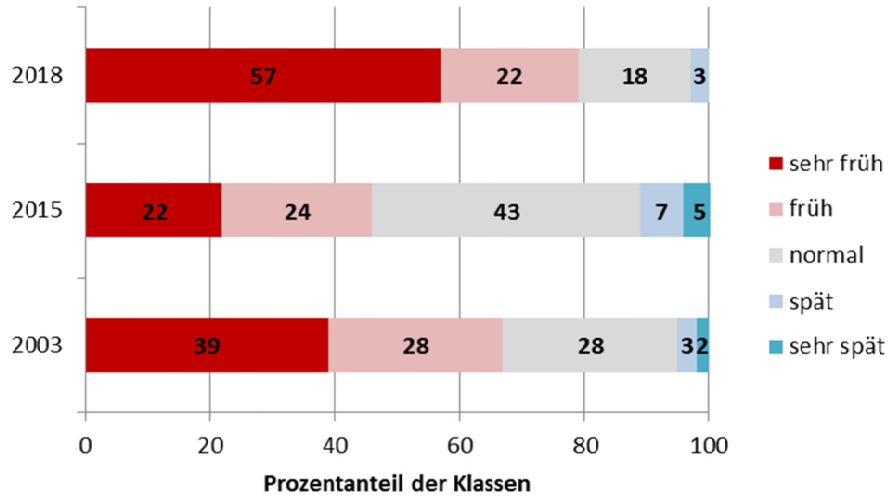

Abbildung 25: Häufigkeit der phänologischen Sommerphasen in den verschiedenen Klassen in den Jahren 2003, 2015 und 2018. Die Datengrundlage im Sommer 2018 ist erst provisorisch, da noch nicht alle phänologischen Meldungen zum Sommer eingetroffen sind.

Im Jahr 2018 konnten 57 Prozent der Beobachtungen im Sommer in die Klasse „sehr früh" eingeordnet werden, im Vergleich zu 39 Prozent im Sommer 2003 und 22 Prozent im Sommer 2015 (**Abbildung 25**). Grund dafür war sicherlich der schon grosse Vorsprung der Vegetation zu Sommerbeginn und die anschliessend weiterhin hohen Temperaturen im Juni und Juli. Der Vorsprung der Vegetation im Sommer 2018 lässt sich mit den hohen Temperaturen der vier für die Vegetationsentwicklung wichtigsten Monate von April bis Juli gut erklären. Aus der Phänologie ist bekannt, dass die Temperatur ein bis zwei Monate vor dem Eintritt der Vegetationsphase diese am stärksten beeinflusst. Bei dieser viermonatigen Temperatur von April bis Juli lag das Jahr 2003 an zweiter und das Jahr 2015 an dritter Stelle (vgl. **Abbildung 7**).

Im Hitzesommer 2003 wurden bei der Blattverfärbung mehr rekordfrühe Termine beobachtet als im Sommer 2015. Die frühe Blattverfärbung im Sommer 2003 war wie im aktuellen Jahr eine Folge der Trockenheit. Bis Ende September lassen sich noch keine Aussagen machen, ob auch die Blattverfärbung im Sommer 2018 viele rekordfrühe Termine bringen wird.

[5] Die Referenzperiode dieser Angaben sind die ganzen Datenreihen seit Messbeginn, weil nicht alle Phasen während der gesamten Normperiode 1981-2010 beobachtet wurden.

8 Blick in die Zukunft

Die Schweiz steuert in Zukunft auf ein wärmeres Klima mit häufigeren und intensiveren sommerlichen Hitze- und Trockenperioden zu. Die Häufigkeit langer (10-tägig) und sehr langer (18-tägig) Hitzewellen, wie sie im Sommer 2018 in der Schweiz auftraten, wird zunehmen. Im heutigen Klima werden lange Hitzewellen im Mittel alle 5 bis 10 Jahre erwartet. Unter der Annahme eines mittleren Treibhausgas-Emissionsszenarios wird sich die Häufigkeit solcher Hitzewellen markant erhöhen, in Genf und Lugano zum Beispiel wird gegen Ende des Jahrhunderts jährlich eine 10-tägige Hitzewelle erwartet. Sehr lange Hitzewellen werden in Genf und Lugano in Zukunft alle zwei bis drei Jahre erwartet, in Zürich und Bern alle 10 Jahre. Die sommerliche Hitzebelastung der Bevölkerung wird deutlich steigen.

8.1 Der zukünftige Klimawandel in der Schweiz

Der projizierte globale Klimawandel während des 21. Jahrhunderts wird über den meisten Regionen der Erde mit einem Temperaturanstieg verbunden sein (IPCC, 2013), so auch in der Schweiz. Das Ausmass der in den verschiedenen Landesteilen zu erwartenden Erwärmung wurde ausführlich in den vorherigen (CH2011, 2011) sowie in den neuesten (CH2018, 2018) Schweizer Klimaszenarien beschrieben (http://www.klimaszenarien.ch/). Beide Szenario-Generationen sind grundsätzlich konsistent zueinander und zeigen ähnliche Ergebnisse bezüglich zukünftigen Temperaturanstiegs. Zusätzliche Einblicke gibt der Bericht „Brennpunkt Klima Schweiz“ (Akademien der Wissenschaften Schweiz, 2016). Je nach zugrundeliegendem Emissionsszenario werden die mittleren Sommertemperaturen in der Schweiz deutlich ansteigen. Bei Szenarien ohne aktive Klimaschutzmassnahmen („business as usual“) könnten sommerliche Erwärmungen von 3.5 bis 7 °C resultieren. Dies wird über weiten Landesteilen mit einem deutlichen Anstieg der Anzahl von Sommertagen (Maximaltemperaturen von mindestens 25 °C) und Hitzetagen (Maximaltemperaturen von mindestens 30 °C) einhergehen. Auch die Häufigkeit tropischer Nächte (Tage mit Minimumtemperaturen von mindestens 20 °C) wird markant ansteigen und in Zukunft Regionen in der Schweiz erfassen, an denen diese Bedingungen bisher nicht auftraten.

Neben einem deutlichen Erwärmungssignal deuten regionale Klimaszenarien für die Schweiz ausserdem auf einen zukünftigen Rückgang der sommerlichen Niederschlagsmengen hin. Bei ungebremst steigenden Treibhausgasemissionen zeigen sich sommerliche Niederschlagsabnahmen zwischen 10 und 20 %. Verbunden mit potentiell höheren Verdunstungsraten wird daraus ein markanter Anstieg der Häufigkeit und Intensität von Trockenperioden resultieren.

8.2 Hitzewellen im Klimawandel

Die beschriebene, in Zukunft zu erwartende Erwärmung wird neben den mittleren Temperaturen auch tägliche Maximal- und Minimumtemperaturen betreffen. Verbunden mit Variabilitätsänderungen der Sommertemperaturen kann dies zu einem deutlichen Anstieg der Frequenz und Intensität von Hitzewellen führen (z.B. Schär et al., 2004).

Auf Grundlage der CH2011 Szenarien präsentieren wir hier eine Analyse der in Zukunft zu erwartenden Häufigkeitsänderungen langer und sehr langer Hitzewellen in verschiedenen Orten der Schweiz. Hitzewellen werden hierzu definiert als Perioden mit mindestens 10 (lang) bzw. mindestens 18 (sehr lang) aufeinanderfolgenden Hitzetagen, das heisst Tagen mit einer Maximaltemperatur von mindestens 30 °C. Lange Hitzewellen entsprechen ungefähr den Verhältnissen im Sommer 2018 in der Deutschschweiz, sehr lange Hitzewellen denjenigen im Tessin. Die Analyse basiert auf 14 regionalen Klimamodellen des ENSEMBLES Projektes (van der Linden und Mitchell, 2009), die mithilfe von Quantile Mapping fehlerkorrigiert und auf die Skala einzelner Stationsstandorte heruntergebrochen wurden (Rajczak et al., 2016). Allen Simulationen liegt mit dem SRES A1B Emissionsszenario ein Szenario aus dem mittleren Bereich zugrunde.

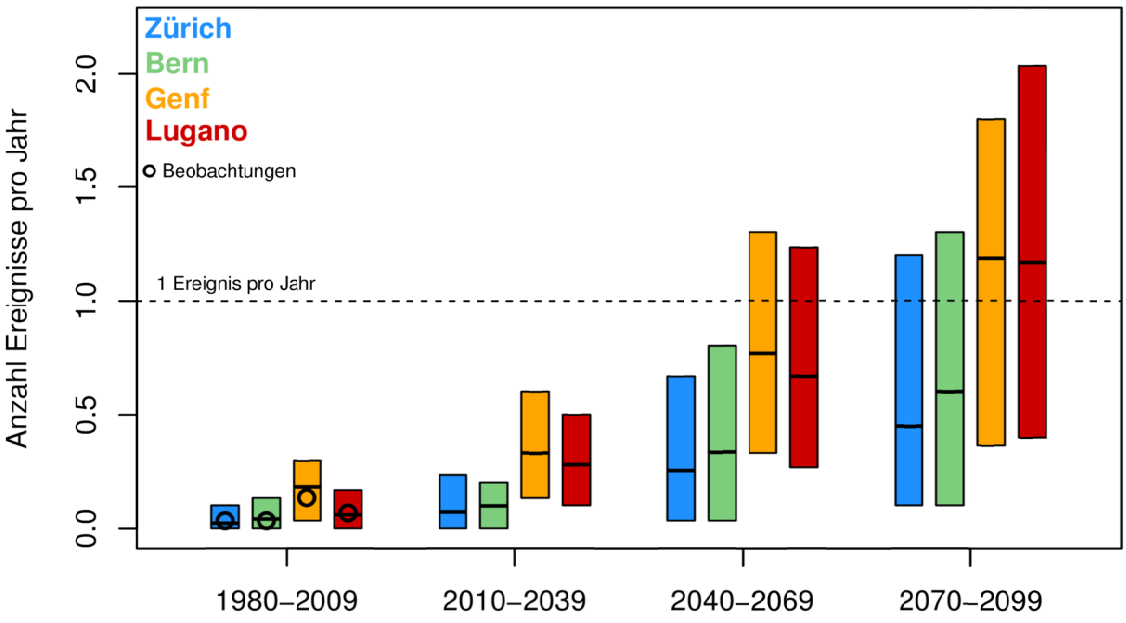

Abbildung 26: Projektionen der Anzahl langer Hitzewellen mit mindestens 10 aufeinander folgenden Hitzetagen (Maximaltemperatur >= 30 °C) an vier Standorten in der Schweiz. Datenquelle: 14 regionale Klimasimulationen des ENSEMBLES Projektes, basierend auf dem SRES A1B Emissionsszenario. Die Balken kennzeichnen die Spannweite der 14 Simulationen, die horizontale schwarze Linie den Median. Die Kreise in der Referenzperiode 1980-2009 kennzeichnen die beobachteten Häufigkeiten.

Abbildung 26 zeigt zunächst die Analyse langer Hitzewellen mit 10 oder mehr Tagen Länge. In den vier betrachteten Städten Zürich, Bern, Genf und Lugano traten derartige Perioden in der Vergangenheit nur selten auf (Kreise) mit Häufigkeiten von 0.1 bis 0.2 Ereignissen pro Jahr, also ein Ereig-

nis pro 5 bis 10 Jahren. Genf weist leicht höhere Wahrscheinlichkeiten als die drei anderen Standorte auf. An allen Standorten wird sich die Häufigkeit langer Hitzewellen im Laufe des 21. Jahrhunderts zum Teil markant erhöhen. In Genf und Lugano wird gegen Ende des Jahrhunderts als beste Schätzung im Mittel mehr als ein Ereignis pro Jahr erwartet (horizontale schwarze Linie).

Sehr lange Hitzewellen mit Dauern von mehr als 18 Tagen sind demgegenüber im heutigen Klima extrem selten mit Häufigkeiten deutlich kleiner als 0.1, also weniger als einem Ereignis pro 10 Jahren (**Abbildung 27**). In Zukunft und unter dem angenommenen Emissionsszenario SRES A1B könnten sich die jährlichen Auftrittshäufigkeiten jedoch deutlich erhöhen auf Werte von 0.1 oder mehr in Zürich und Bern (mehr als ein Ereignis alle 10 Jahre) und auf 0.4 bis 0.5 (ein Ereignis alle zwei bis drei Jahre) in Genf und Lugano.

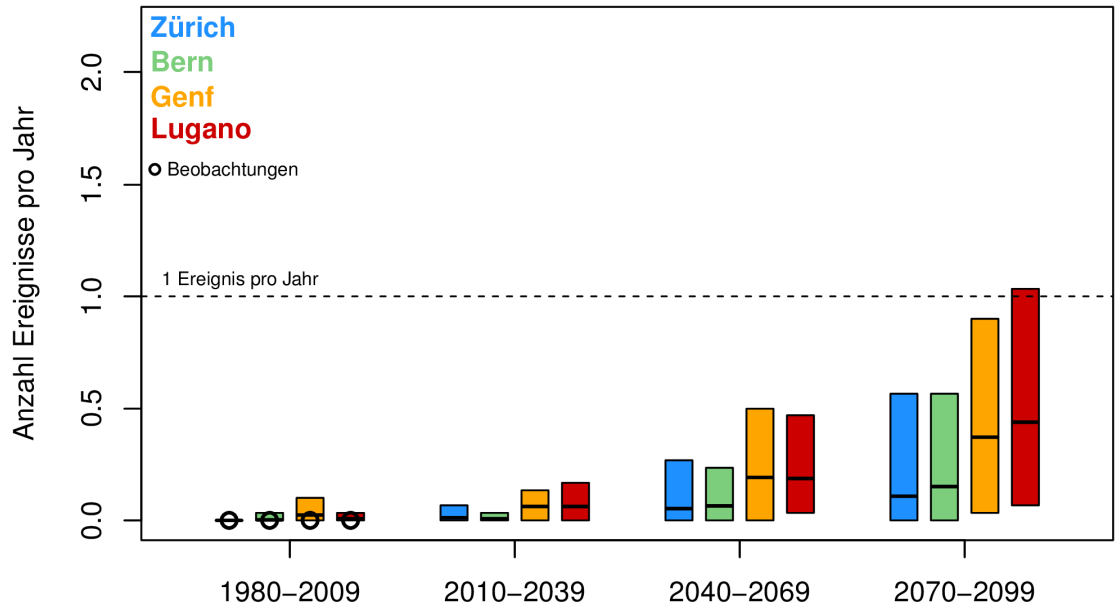

Abbildung 27: Wie **Abbildung 26** jedoch für sehr lange Hitzewellen (mindestens 18 aufeinander folgende Hitzetage).

Es muss betont werden, dass Auswertungen globaler und regionaler Klimaprojektionen wie hier gezeigt mit Unsicherheiten behaftet sind, die bei der Interpretation und Einordnung der Ergebnisse berücksichtigt werden müssen. Diese Unsicherheiten sind zum Teil darin begründet, dass auch komplexe und physikalisch basierte Klimamodelle immer nur ein vereinfachtes Abbild der Realität darstellen. Dies ist in der vorliegenden Analyse durch die farbigen Balken illustriert, die die Spannweite der Ergebnisse von 14 unterschiedlichen Kombinationen globaler und regionaler Klimamodelle kennzeichnen. Trotz aller Modellunsicherheit ist die zukünftige Zunahme von Intensität und Häufigkeit von Hitzewellen ein robustes Signal, lediglich in der konkreten Ausprägung dieser Zunahme unterscheiden sich die Modelle voneinander. Eine weitere Unsicherheitsquelle, die in dieser Analyse nicht berücksichtigt wird, ist das den Simulationen zugrundeliegende Treibhausgas-Emissionsszenario. Hier wird nur ein einziges Szenario (SRES A1B), dem vergleichsweise optimistische Annahmen zugrunde liegen, betrachtet. Für stärkere Emissionsszenarien ist prinzipiell mit einer zusätzlichen Verstärkung der Hitzewellen zu rechnen.

8.3 Hitzestress als Gesundheitsrisiko

Sommerlicher Hitzestress ist seit einigen Jahren ein heiss diskutiertes Thema, so auch im zurückliegenden Sommer 2018. Unter hohen Temperaturen und andauernden Hitzewellen leidet das Wohlbefinden der Gesellschaft. Die Kombination hoher Temperaturen mit hoher Luftfeuchte (auch als „Schwüle“ bezeichnet) bedeutet Stress für den menschlichen Körper: Er kann die Wärme, die z.B. durch muskuläre Aktivität entsteht, nur noch schwer abführen (Parsons, 2014). Besonders gefährdet sind Kinder, bereits geschwächte oder kranke sowie ältere Personen. In vielen Fällen leidet auch die arbeitende Bevölkerung. Zum Beispiel dann, wenn Arbeitsplätze der Hitze stark ausgesetzt sind, Ruhe- und Erholungspausen nicht wahrgenommen werden oder nicht genügend getrunken wird. Dadurch steigt das Risiko hitzebedingter Erschöpfung bis zum Hitzeschlag stark an. Neben gesundheitlichen Folgen ist bei Hitzestress auch mit Einbussen bei der Arbeitsproduktivität zu rechnen (Dunne et al. 2013, Kjellstrom et al., 2018).

Die Hitzebelastung des Körpers kann durch die sogenannte *wet bulb globe temperature* (WGBT), einem spezifischen Hitzestress-Index, der speziell für die arbeitende Bevölkerung definiert wurde, beschrieben werden. Dieser Index berücksichtigt neben der täglichen Maximaltemperatur auch den Feuchtegehalt der Luft (Hitzestress im Schatten, Bernard and Pourmoghani, 1999), die Maximalsonnenstrahlung und den Wind (Hitzestress in der Sonne, Liljegren et al., 2008).

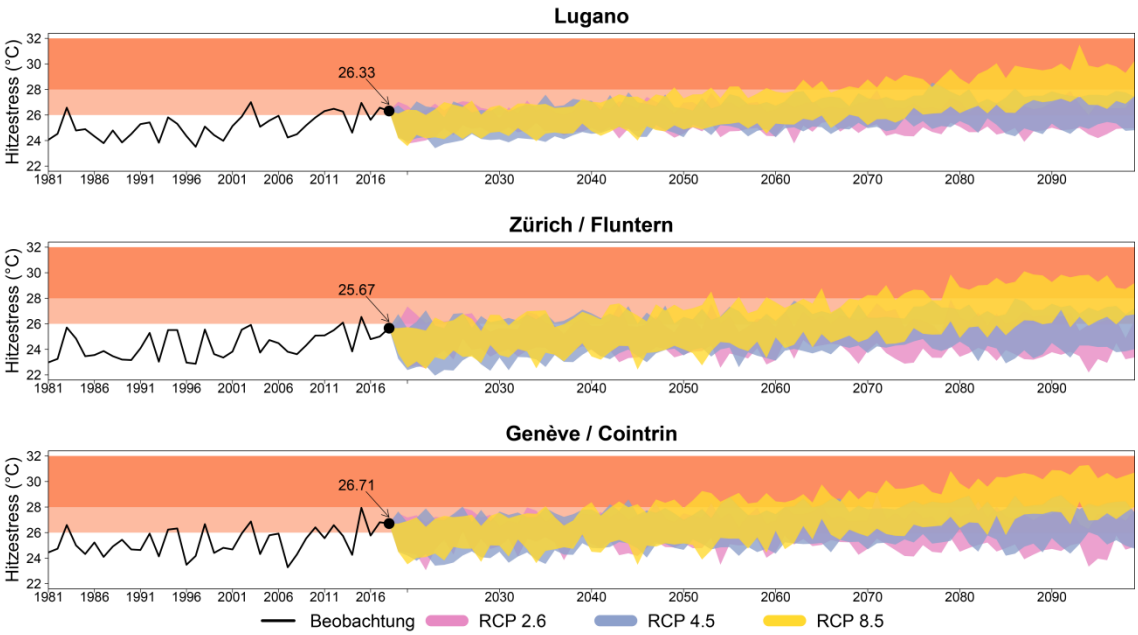

Abbildung 28: Maximaler sommerlicher Hitzestress (ausgedrückt durch das jährliche Maximum im Hitzestress-Index im Schatten) in Lugano, Zürich und Genf. Schwarze Linie bis 2018: Beobachtungen; der schwarze Punkt kennzeichnet den Maximalwert im Sommer 2018. Farbige Bereiche ab 2019: zukünftige Projektionen für drei unterschiedliche Treibhausgas-Szenarien (schwach, mittel, stark). Die Breite der Bänder beschreibt die Modellunsicherheit. Der hellrote Balken im Hintergrund kennzeichnet starke, der dunkelrote Balken sehr starke Hitzebelastung (Hitzestress-Index über 26 °C bzw. über 28 °C).

Der zukünftige Klimawandel und insbesondere steigende Temperaturen werden die Hitzebelastung der Bevölkerung weiter verstärken. Im Fokus des HEAT-SHIELD Projektes (https://www.heat-shield.eu/) steht die Auswirkung von zukünftiger Hitzebelastung auf mehrere wichtige Industrie-Sektoren. Mithilfe regionaler Klimasimulationen von CORDEX (Kotlarski et al., 2014, Jacob et al., 2014) wird die zukünftige Hitzebelastung europaweit und für drei unterschiedliche Szenarien des zukünftigen Treibhausgas-Ausstosses (RCP 2.6, RCP 4.5 und RCP 8.5 bzw. schwach, mittel und stark) abgeschätzt.

Abbildung 28 zeigt die beobachtete und die erwartete zukünftige maximale sommerliche Hitzebelastung an drei Orten der Schweiz: Lugano, Zürich und Genf. Die Rekordsommer 2003 und 2015 schwingen auch in Bezug auf Hitzestress oben aus. Auch der Sommer 2018 war insbesondere Anfang August mit starkem Hitzestress verbunden. Für die Zukunft erwarten wir an allen drei Standorten einen mehr oder weniger deutlichen Anstieg der Hitzebelastung. Das gilt vor allem für das starke Emissionsszenario (RCP 8.5) und für die zweite Hälfte des Jahrhunderts. In Lugano und Genf wird eine starke Hitzebelastung (WBGT > 26 °C) gegen Ende des Jahrhunderts die Regel sein. Eine sehr starke Belastung (WBGT > 28 °C) ist, zumindest für das starke Emissionsszenario, regelmässig zu erwarten.

Danksagung

Wir danken folgenden Personen von MeteoSchweiz für die Begutachtung des Berichts: **Cornelia Schwierz, Thomas Schlegel** und **Mischa Croci-Maspoli**.

Literaturverzeichnis

Akademien der Wissenschaften Schweiz, 2016: Brennpunkt Klima Schweiz. Grundlagen, Folgen und Perspektiven, Swiss Academies Reports 11 (5).

Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes and M. Smith, 1998: Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56, FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm.

Bernard, T.E. and M. Pourmoghani, 1999: Prediction of Workplace Wet Bulb Global Temperature, Applied Occupational and Environmental Hygiene, 14, pp. 126-134.

CH2011, 2011: Swiss Climate Change Scenarios CH2011, published by C2SM, MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate, and OcCC, Zurich, Switzerland, 88 pp.

CH2018, 2018: CH2018 – Climate Scenarios for Switzerland, Technical Report, National Centre for Climate Services, Zurich, 271 pp. ISBN: 978-3-9525031-4-0.

C3S, 2018: Homepage of the Copernicus Climate Change Service, [ONLINE] Available at: https://climate.copernicus.eu/long-hot-summer-just-past [Accessed 5.11.2018]

Dunne, J.P., R. J. Stouffer, and J. G. John, 2013: Reductions in labour capacity from heat stress under climate warming, Nature Climate Change, 3, pp. 563-566.

DWD, 2018: Homepage des Deutschen Wetterdienstes, [ONLINE] Available at: https://www.dwd.de/EN/ourservices/rcccm/int/rcccm_int_hwkltr.html [Accessed 5.11.2018]

FMI, 2018: Homepage of the Finnish Meteorological Institute, [ONLINE] Available at: https://en.ilmatieteenlaitos.fi/press-release/610918514 [Accessed 5.11.2018]

Gehrig, R., 2006: The influence of the hot and dry summer 2003 on the pollen season in Switzerland, Aerobiologia, 22, 27-34.

Gehrig, R., N. König, und S. C. Scherrer, 2018: Städtische Wärmeinseln in der Schweiz – Klimatologische Studie mit Messdaten in fünf Städten, Fachbericht MeteoSchweiz, 273.

Hargreaves, G. H. and Z. A. Samani, 1985: Reference crop evapotranspiration from temperature, Applied Engrg. in Agric., 1, 96-99.

IPCC, 2013: Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report. Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Jacob D., J. Petersen, B. Eggert, A. Alias, O. B. Christensen, L. M. Bouwer, A. Braun, A. Co-

lette, M. Déqué, G. Georgievski, E. Georgopoulou, A. Gobiet, L. Menut, G. Nikulin, A. Haensler, N. Hempelmann, C. Jones, K. Keuler, S. Kovats, N. Kröner, S. Kotlarski, A. Kriegsmann, E. Martin, E. v. Meijgaard, C. Moseley, S. Pfeifer, S. Preuschmann, C. Radermacher, K. Radtke, D. Rechid, M. Rounsevell, P. Samuelsson, S. Somot, J. - F. Soussana, C. Teichmann, R. Valentini, R. Vautard, B. Weber, and P. Yiou,, 2014: EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research, Reg. Environ. Change, 14, pp. 563-578.

Kjellstrom T., C. Freyberg, B. Lemke, M. Otto, and D. Briggs, 2018: Estimating population heat exposure and impacts on working people in conjunction with climate change, International Journal of Biometeorology, 62, pp. 291-306.

Kotlarski S., K. Keuler, O. B. Christensen, A. Colette, M. Déqué, A. Gobiet, K. Goergen, D. Jacob, D. Lüthi, E. Meijgaard, G. Nikulin, C. Schär, C. Teichmann, R. Vautard, K. Warrach-Sagi, and V. Wulfmeyer, 2014: Regional climate modeling on European scales: a joint standard evaluation of the EURO-CORDEX RCM ensemble, Geosci. Model Dev., 7, pp. 1297-1333.

Kuttler, W., 2009: Klimatologie, UTB, 3099. Schöningh Paderborn, 260 S.

Liljegren J.C., R. Carhart, P. Lawday, S. Tschopp, and R. Sharp, 2008: Modeling wet bulb globe temperature using standard meteorological measurements, J. Occup. Environ. Hyg., 5, pp. 645-655.

MeteoSchweiz, 2016: Der Hitzesommer 2015 in der Schweiz, Fachbericht MeteoSchweiz, 260, 68 pp.

Parsons K., 2014: Human thermal environment: The effects of hot, moderate and cold temperatures on human health, Third edition Hrsg., New York: CRC Press.

Rajczak J., S. Kotlarski, N. Salzmann, and C. Schär, 2016: Robust climate scenarios for sites with sparse observations: A two-step bias correction approach. International Journal of Climatology, 36, 1226-1243. DOI: 10.1002/joc.4417.

Schär, C., P.L. Vidale, D. Lüthi, C. Frei, C. Häberli, M. A. Liniger, and C. Appenzeller, 2004: The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. Nature, 427, pp. 332-336.

Thornthwaite, C. W., 1948: An approach toward a rational classification of climate. Geographic Review 38:55-94.

van der Linden, P. and J. F. B. Mitchell, 2009: ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project, Met Office Hadley Centre, Exeter, UK, 160 pp.

Vicente-Serrano, S. M., S. Begueíra, and J. I. López-Moreno, 2010: A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index – SPEI, J. Clim., 23: 1696–1718.

Vogt, R., und E. Parlow, 2011: Die städtische Wärmeinsel von Basel – tages- und jahreszeitliche Charakterisierung, Basler Zeitschrift für Geographie - Regio Basiliensis, 52(1), 7-15.

MeteoSchweiz
Operation Center 1
CH-8044 Zürich-Flughafen
T +41 58 460 99 99
www.meteoschweiz.ch

MeteoSvizzera
Via ai Monti 146
CH-6605 Locarno Monti
T +41 58 460 97 77
www.meteosvizzera.ch

MétéoSuisse
7bis, av. de la Paix
CH-1211 Genève 2
T +41 58 460 98 88
www.meteosuisse.ch

MétéoSuisse
Chemin de l'Aérologie
CH-1530 Payerne
T +41 58 460 94 44
www.meteosuisse.ch